

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO PROFISSIONAL**

CRISTIAN SIPPEL

**AVALIAÇÃO DO PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM
UTILIZAÇÃO DE CHUVEIROS ELÉTRICOS COM BASE RECUPERADORA
DE CALOR APLICADOS EM POPULAÇÕES DE BAIXO PODER AQUISITIVO**

CAXIAS DO SUL

2014

CRISTIAN SIPPEL

**AVALIAÇÃO DO PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM
UTILIZAÇÃO DE CHUVEIROS ELÉTRICOS COM BASE RECUPERADORA
DE CALOR APLICADOS EM POPULAÇÕES DE BAIXO PODER AQUISITIVO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade de Caxias do Sul.

Área de concentração: Desempenho e controle de sistemas energéticos.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Fassini Michels

Coorientador: Prof. Dr. Diorge Alex Bão Zambra

CAXIAS DO SUL

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
UCS - BICE - Processamento Técnico

S618a Sippel, Cristian

Avaliação do projeto de eficiência energética com utilização de chuveiros elétricos com base recuperadora de calor aplicados em populações de baixo poder aquisitivo / Cristian Sippel. - Caxias do Sul, RS. 2014.

60 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2014.

Orientação: Prof. Dr. Alexandre Fassini Michels ; Coorientador: Prof. Dr. Diorge Alex Bão Zambra.

1. Energia – Conservação. 2. Energia elétrica – Utilização. 3. Energia elétrica. 4. Energia – Medição. I. Título.

Índice para o catálogo sistemático:

1. Energia – Conservação	620.9
2. Energia elétrica – Utilização	620.93
3. Energia elétrica	537.214
4. Energia – Medição	621.317.38

Catalogação na fonte elaborada pela bibliotecária
Márcia Servi Gonçalves – CRB 10/1500

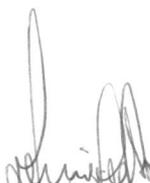
UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA - PPGMEC
MESTRADO PROFISSIONAL

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos onze dias do mês de abril do ano de dois mil e quatorze, às dez horas, na sala 410 do Bloco V, Cidade Universitária, sob a presidência do Prof. Dr. Alexandre Fassini Michels, orientador e do Prof. Dr. Diorge Alex Bao Zambra, coorientador, foi apresentada a Dissertação de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica de **Cristian Sippel** intitulada **“Avaliação do projeto de eficiência energética com utilização de chuveiros elétricos com base recuperadora de calor aplicado em populações de baixo poder aquisitivo”**. A banca examinadora foi composta pelos seguintes professores: Odilon Francisco Pavón Duarte (PUCRS), Carlos Roberto Altafini (UCS) e Guilherme Holsbach Costa (UCS). Aberta a sessão, o mestrando foi convidado a apresentar sua dissertação, seguida de arguição pelos membros da Banca Examinadora. Logo após, a sessão foi suspensa e a Banca reuniu-se reservadamente para avaliar o trabalho apresentado. Por unanimidade dos participantes da Banca Examinadora, o candidato foi aprovado com conceito 3, (três), sendo que a aprovação confere ao aluno o título de Mestre em Engenharia Mecânica. O Presidente da Banca encerrou as atividades às 12:15, comunicando ao mestrando que a presente Ata tem validade de 90 dias como documento comprobatório de conclusão do curso. Durante esse período, o mestrando deverá entregar o exemplar na versão final com as correções sugeridas pela Banca Examinadora e solicitar à Secretaria, o encaminhamento do Diploma.

Nada mais havendo a constar, a presente Ata lida e considerada conforme, vai assinada pelas autoridades acadêmicas elencadas acima.

Caxias do Sul, 11 de abril de 2014.



Prof. Dr. Alexandre Fassini Michels



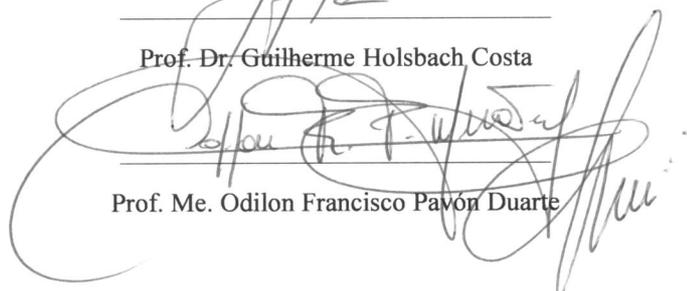
Prof. Dr. Diorge Alex Bao Zambra



Prof. Dr. Carlos Roberto Altafini



Prof. Dr. Guilherme Holsbach Costa



Prof. Me. Odilon Francisco Pavón Duarte

Para os meus pais Rui e Vâni, e minha
consorte Karen Jonson, meus
modelos de simplicidade,
honestidade e amor.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro à minha família, em especial aos meus pais, Rui e Vâni, que sempre me apoiaram e constituem meu porto seguro frente às turbulências da vida.

A minha consorte Karen Jonson Peixoto pela compreensão quanto as minhas ausências em função de trabalhos, provas e desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alexandre Fassini Michels , pelos conhecimentos transmitidos, apoio e amizade e paciência para comigo no decorrer desta jornada.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Diorge Alex Bão Zambra, pelos ensinamentos e palavras de motivação.

Ao meu amigo Antônio Flávio pela motivação e palavras de estímulo na busca desta titulação.

Ao meu amigo Eugênio Severo Medeiros pelo apoio e viabilização da realização deste curso de mestrado.

Ao meu amigo Luiz Carlos Lopes pela luta na manutenção dos recursos financeiros necessários para a realização do curso de mestrado.

A todos os colegas que tive no grupo de mestrado, em especial ao Rodrigo Brandalise, pela amizade e apoio e trabalhos desenvolvidos.

Aos professores e colegas do PPGMEC, em especial aos alunos da primeira turma.

À Universidade de Caxias do Sul, pela realização do excelente curso.

À empresa RGE por permitir usar o projeto e recursos para a realização das medições e desenvolvimento dos trabalhos.

A todos que de alguma forma me auxiliaram nesta jornada, meu muito obrigado.

“Não se gerencia o que não se mede,
não se mede o que não se define,
não se define o que não se entende,
e não há sucesso no que não se gerencia”

William Edwards Deming

RESUMO

Esta dissertação apresenta o estudo para determinação da redução da potência no chuveiro elétrico quando da utilização da base recuperadora de calor. Ainda, compara os resultados de duas metodologias de avaliação dos ganhos energéticos, em acordo ao estabelecido no Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP), para as ações de troca de chuveiros nas comunidades de baixa renda. A aplicação da proposta comprovou que os resultados de redução de potência para o conjunto chuveiro mais base recuperadora podem ser extrapolados para toda a população que recebe a ação de eficiência energética. Mostrou que as estimativas para o fator de coincidência no período da ponta, que traduzem a utilização do chuveiro, constituem elemento decisivo na determinação da potência retirada no período da ponta. Por fim, a opção de medição e verificação baseada na opção “B” do referido protocolo é mais conservativa e mais assertiva na determinação dos resultados da potência retirada no período da ponta.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Recuperador de Calor, Medição e Verificação, Economia de Energia.

ABSTRACT

This dissertation presents a study to determine the power reduction in electric shower when using the heat recovery base. Also, compare the results of two methods of assessing the energy savings in accordance to the provisions of Protocol International Performance Measurement and Verification (IPMVP) for the exchange of shares of showers in low-income communities. The implementation of the proposal showed that the results of power reduction for the whole shower over recuperative base can be extrapolated to the entire population that receives the action of energy efficiency. Showed that the estimates for the coincidence factor at the period, which reflect the use of the shower, constitute decisive factor in determining the power drawn at the period. Finally, the choice of measurement and verification based on the "B" option is more conservative and more assertive in determining the outcomes of power drawn from the period.

Keywords: Energy Efficiency, Heat Recovery Device, Measurement and Verification, Energy Savings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Projeção de demanda com Eficiência Energética	4
Figura 2 - Projetos por tipologia	6
Figura 3 - Exemplo de recuperador de calor para chuveiro	11
Figura 4 - Princípio de funcionamento do trocador de calor.....	12
Figura 5 - Recuperador de calor e chuveiro	13
Figura 7 - Exemplo de histórico de consumo de energia	15
Figura 6 - Base recuperadora de calor.....	23
Figura 8 - Fluxograma do processo de validação da metodologia ICF	26
Figura 9 - Registrador instalado na casa do cliente	27
Figura 10 - Medidor instalado	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Quadro sintético para medição e verificação opção “A”	25
Quadro 2: Quadro sintético para medição e verificação opção “B”	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Projetos, retornos e investimentos.....	5
Tabela 2 - Tamanho da amostra por faixa populacional.....	19
Tabela 3 - Quantidade de clientes beneficiados por faixa de consumo	27
Tabela 4 - Redução de potência para vazão de 2,5 L/mim.....	34
Tabela 5 - Redução de potência para vazão de 3,0 L/mim.....	35
Tabela 6 - Redução de potência para vazão de 3,5 L/mim.....	35
Tabela 7 - Redução de potência para vazão de 4,0 L/mim.....	36
Tabela 8 - Resumo dos banhos para a faixa de consumo de 0 a 30 kWh	37
Tabela 9 - Resumo dos banhos para a faixa de consumo de 30 a 100 kWh.....	37
Tabela 10 - Resumo dos banhos para a faixa de consumo de 100 a 220 kWh.....	38
Tabela 11 - Resumo dos banhos para toda a amostra	38
Tabela 12 - Comparativo entre <i>FCP</i> e o <i>FCP</i> médio.....	39
Tabela 13 - Redução de demanda na ponta total e média (<i>FCP</i> médio das faixas).....	39
Tabela 14 - Redução de demanda na ponta total e média (<i>FCP</i> médio por faixa).....	39
Tabela 15 - Redução de demanda na ponta total para a população (<i>FCP</i> médio das faixas)	40
Tabela 16 - Redução de demanda na ponta total para a população (<i>FCP</i> médio por faixa)	40
Tabela 17 – Consumo total de energia para a faixa de 0 a 30 kWh.....	41
Tabela 18 – Consumo total de energia para a faixa de 30 a 100 kWh.....	41
Tabela 19 - Redução de total de energia para a faixa de 100 a 220 kWh	42
Tabela 20 - Economia de energia anual por faixa de consumo	42
Tabela 21 – Consumo total de energia para a amostra.....	42
Tabela 22 - Economia de energia anual por faixa de consumo	43
Tabela 23 - Resumo dos banhos para a faixa de consumo de 0 a 30 kWh	44
Tabela 24 - Resumo dos banhos para a faixa de consumo de 30 a 100 kWh.....	44
Tabela 25 - Resumo dos banhos para a faixa de consumo de 100 a 220 kWh.....	45
Tabela 26 - Resumo dos banhos para toda amostra.....	45
Tabela 27 - Comparativo entre <i>FCP</i> médio por faixa e o <i>FCP</i> médio da amostra.....	45
Tabela 28 - Redução de demanda na ponta total e média (<i>FCP</i> médio das faixas).....	46
Tabela 29 - Redução de demanda na ponta total e média (<i>FCP</i> médio por faixa).....	46

Tabela 30 - Redução de demanda na ponta total para a população (<i>FCP</i> médio das faixas)	46
Tabela 31 - Redução de demanda na ponta total para a população (<i>FCP</i> médio por faixa)	47
Tabela 32 - Comparativo entre metodologias para o tempo de banho e <i>FCP</i>	48
Tabela 33 - Comparativo entre metodologias para a demanda conservada na ponta	48
Tabela 34 Comparativo entre metodologias para a potência total verificada no pré- <i>retrofit</i> e pós- <i>retrofit</i>	49
Tabela 35 - Comparativo entre metodologias para o ganho da ação de Eficiência Energética	50
Tabela 36 – Número das unidades consumidoras selecionadas – 0 a 30 kWh.....	57
Tabela 37 - Número das unidades consumidoras selecionadas – 30 a 100 kWh	57
Tabela 38 - Número das unidades consumidoras selecionadas – 100 a 220 kWh	58

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E TERMOS

ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia
AEE	Ação de eficiência energética
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
<i>Baseline</i>	Linha de base onde todos os modos de funcionamento da instalação são contemplados e que servirão como referência para aferição dos resultados
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural
DOE	<i>Department of Energy</i>
EVO	Organização sem fins lucrativos, apenas dedicada à criação de ferramentas de medição e verificação
ICF	Empresa que atua nas áreas de consultoria em eficiência energética
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
IPMVP	<i>International Performance Measurement and Verification Protocol</i>
M&V	Medição e Verificação
MEPEE	Manual dos Programas de Eficiência Energética
MME	Ministério de Minas e Energia
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PEE	Programa de Eficiência Energética
PIMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance
Ponta	Período de tempo compreendido das 18h às 21h
<i>Pós-retrofit</i>	Período posterior à realização da medida de eficiência energética
<i>Pré-retrofit</i>	Período anterior à realização da medida de eficiência energética
PRFV	Polímero reforçado de fibra de vidro
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.
PUC-RJ	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
RCB	Relação custo benefício
Retrofit	Processo de modernização de algum equipamento já considerado ultrapassado
RGE	Rio Grande Energia S.A.
UC	Unidade consumidora de energia
VBA	<i>Visual Basic for Application</i>

LISTA DE SIMBOLOS

C_1	Consumo do sistema existente [kWh/ano]
C_2	Consumo do sistema proposto [kWh/ano]
C_p	Calor específico da água [4.184J/kg.K]
D_1	Demanda na ponta do sistema existente [kW]
D_2	Demanda na ponta do sistema proposto [kW]
Ea	Margem de erro ou erro amostral considerado [%]
EE	Energia economizada [MWh/ano]
EE_{med}	Energia média economizada [MWh/ano]
EE_{Total}	Energia total economizada [MWh/ ano]
E_p	Erro padrão
ε_{ss}	Eficiência da troca térmica
FCP	Fator de coincidência na ponta
FCP_1	Fator de coincidência na ponta para o sistema existente
FCP_2	Fator de coincidência na ponta para o sistema proposto
\dot{m}_{banho}	Vazão mássica da água de admissão na base recuperadora [kg/s]
$\dot{m}_{descarte}$	Vazão mássica da água de descarte [kg/s]
n	Tamanho da amostra
N	Tamanho da população
Nm	Número de dias de medição [d]
p	Proporção de elementos de características semelhantes
P	Potência do chuveiro [kW]
P_1	Potência do sistema existente [kW]
P_2	Potência do sistema proposto [kW]
P_{TC}	Potência no chuveiro para a troca térmica [W]
q	Proporção de elementos de características não semelhantes
RDP	Redução de demanda na ponta [kW]
RDP_{med}	Redução média de demanda na população [kW]
RDP_{Total}	Redução total da demanda na ponta [kW]
s	Desvio padrão amostral
Ta	Temperatura ambiente [°C]
$T_{banho,entrada}$	Temperatura de admissão da base recuperadora [°C]

$T_{banho,saída}$	Temperatura de saída da base recuperadora da base recuperadora [°C]
$T_{descarte,entrada}$	Temperatura da água que cai sobre a base recuperadora [°C]
$T_{descarte,saída}$	Temperatura da água que escoar da base recuperadora de calor [°C]
$T_{saída}$	Temperatura da água que sai do chuveiro [°C]
tf	Tempo de funcionamento [min]

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	3
1.1 Contextualização do trabalho	3
1.2 Justificativa.....	7
1.3 Objetivos.....	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 Funcionamento do recuperador de calor	11
2.2 Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Desempenho.....	14
2.2.1 Determinação das economias	15
2.2.2 Energia Economizada.....	16
2.2.3 Redução de Demanda na Ponta	16
2.2.4 Opção A - Medição parcial de retrofit isolado	17
2.2.5 Opção B - Medição total de retrofit isolado.....	17
2.3 Amostragem.....	18
2.3.1 Clusters de clientes.....	18
2.3.2 Tamanho das amostras.....	18
2.3.3 Precisão e intervalo de confiança esperada	19
2.3.4 Sazonalidade	20
2.4 Variáveis de influência	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1 Introdução	23
3.2 O trocador	23
3.2.1 Material e Dimensões da Caixa Externa (Plataforma)	24
3.2.2 Material e Dimensões da Serpentina (Núcleo do Recuperador de Calor).....	24
3.3 Metodologias de medições aplicadas.....	24
3.4 Amostras.....	26
3.5 Medições utilizando opção “A”.....	27
3.6 Medições utilizando opção “B”.....	28
3.7 Cálculo dos resultados para opção “A”	28
3.8 Cálculo dos resultados para opção “B”	30
3.9 Determinação da redução da potência com uso da base recuperadora.....	30
3.10 Equipamentos de medição.....	31

3.10.1 Registrador com memória de massa.....	31
3.10.2 Medidor de temperatura (termopar).....	32
4 RESULTADOS	34
4.1 Resultados da base recuperadora de calor	34
4.2 Resultados junto aos clientes.....	36
4.2.1 Opção “A” de medição e verificação	36
4.2.2 Opção “B” de medição e verificação.....	43
4.3 Comparativo entre as metodologias opção “A” e “B”	48
5 CONCLUSÕES	51
6 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	53
7 REFERÊNCIAS	54
8 APÊNDICE	57
8.1 APÊNDICE A: SELEÇÃO DAS AMOSTRAS.....	57
8.2 APÊNDICE B: CADASTRO DE CONSUMIDORES	59
8.3 APÊNDICE C: CONTRATO	60

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do trabalho

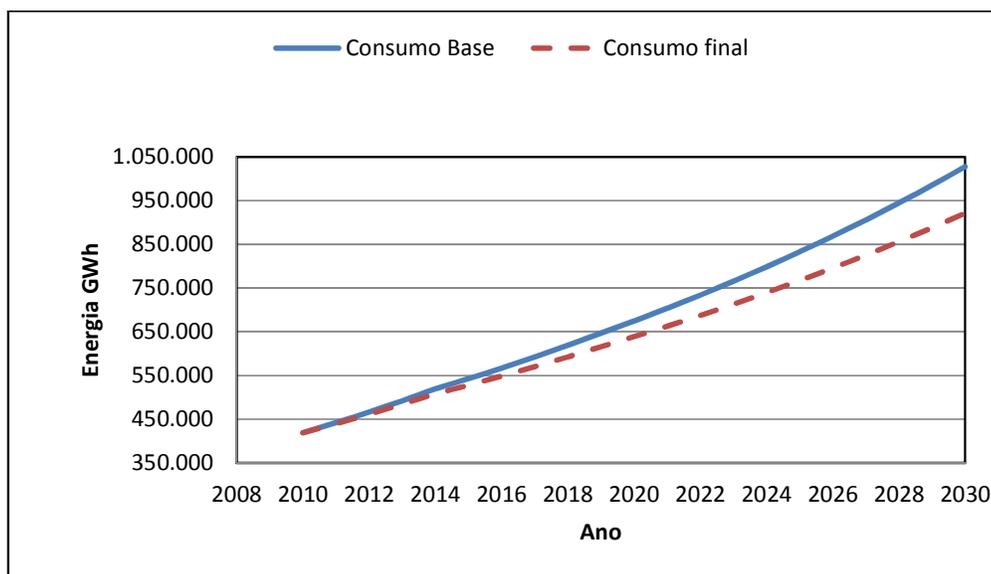
Em meados da década de 80 surge o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e de Derivados de Petróleo (CONPET). O principal programa nacional de conservação de eletricidade foi criado em 1985, tendo a ELETROBRAS como sua secretaria-executiva e principal órgão implementador de suas atividades por meio do programa PROCEL (ELETROBRAS/PROCEL, 2011).

Desde sua criação o PROCEL passou por várias discontinuidades, tendo inclusive sido cogitada a sua extinção em meados de 1998. No período 1986-2011 a ELETROBRAS investiu mais de R\$1,26 bilhões em ações de eficiência energética obtendo uma economia de energia de 51,2 bilhões de kWh, montante suficiente para atender 27 milhões de residências durante um ano (ELETROBRAS/PROCEL, 2011).

Para consolidar os avanços na política de uso racional da energia elétrica, duas leis foram elaboradas: a Lei nº 10.295/2001 estabelece padrões mínimos de Eficiência Energética para equipamentos comercializados no país; e a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, que institui a obrigatoriedade da aplicação, por parte das concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica, de 1% da receita operacional líquida em Programas de Eficiência Energética (PEE) e projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), (ANEEL, 2008). Neste contexto, conservar energia pode se constituir em uma oportunidade de negócio mais rentável para o setor elétrico do que a realização de investimentos na expansão do sistema de fornecimento (geração, transmissão e distribuição de energia elétrica) (JANNUZZI D. G., 2002).

Ainda que bastante sintético e sem identificação de usos finais, uma tentativa de mensurar o potencial de conservação de eletricidade, foi apresentada no plano Nacional de Eficiência Energética em 2011. É apresentado na figura 1 esse esforço baseado nas ações de eficiência energética para reduzir o incremento no consumo de eletricidade. Nela pode-se observar a diferença que existe entre a curva de base de consumo, sem nenhuma ação de conservação de energia elétrica, e a curva do consumo final caso fossem adotadas medidas de conservação de energia elétrica.

Figura 1 - Projeção de demanda com Eficiência Energética



Fonte: (MME, 2011) Plano Nacional de Eficiência Energética.

Para atingir a redução de energia prevista nesse planejamento do Ministério de Minas e Energia (MME) (figura 1) inúmeras ações de eficiência energética vêm sendo desenvolvidas no âmbito do programa PROCEL e também na esfera dos programas de eficiência energética regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), trazendo resultados e benefício importantes para a sociedade. Ainda, estudos mostram que o potencial de economia de energia elétrica pode atingir um total de 29,7 TWh, cerca de 8,3% do consumo observado em 2005 (NOGUEIRA, 2007).

Visto isso, um elemento crucial em qualquer programa de conservação de energia é a capacidade de verificar os resultados a partir das informações do consumo de energia medidos (AGAMI, 1997 apud. FELS & KEATING, 1993). Somente desta maneira, tendo os resultados aferidos, será possível a inclusão no planejamento estratégico das questões relacionadas à Eficiência Energética. No intuito de resolver o problema da confiabilidade dos resultados dos programas, a ANEEL por meio da resolução normativa nº 300 de 12 de fevereiro de 2008, incluiu no Manual dos Programas de Eficiência Energética (MEPEE) a necessidade da utilização da metodologia baseada no Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP) para avaliação dos projetos.

A tabela 1 que segue apresenta, de maneira sintética, os valores aportados e resultados obtidos nas diversas ações executadas no âmbito do PEE implementado pelas diversas distribuidoras de energia elétrica. Observa-se que resultados obtidos anteriores a

2008 não seguiam o PIMVP e assim são alvo de dúvidas recorrentes, por parte da ANEEL, referente à sua acuidade.

Tabela 1- Projetos, retornos e investimentos

Ciclo	Projetos	Empresas	Demanda retirada (MW)	Energia Conservada (GWh/ano)	Investimentos (MI R\$)
1998/1999	251	17	250	755	196
1999/2000	364	42	370	1.020	230
2000/2001	199	64	251	894	152
2001/2002	194	64	85	348	142
2002/2003	402	64	54	222	154
2003/2004	568	64	110	489	313
2004/2005	598	64	275	925	175
2005/2006	364	63	158	569	311
2006/2007	279	62	141	377	263
TOTAL	3.219	-	1.694*	5.599*	1.936
2008-2011**	914	78	708	2.075	2.415

Fonte: ANEEL, 2012

Notas:

* Informações pendentes de confirmação técnica;

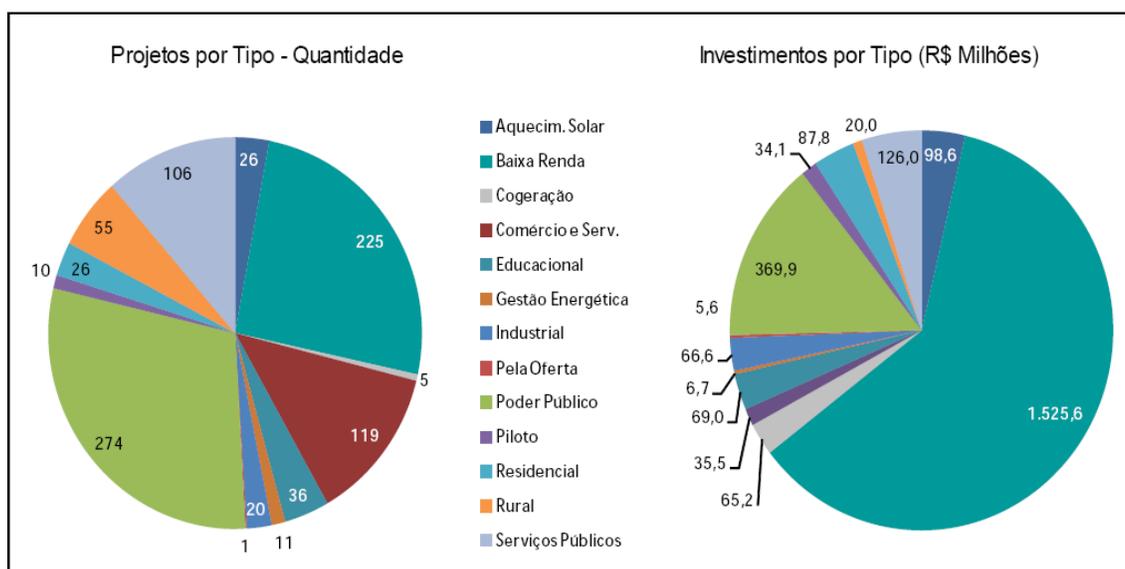
** Projetos iniciados sob a Resolução nº 300/2008, que contempla nova metodologia de avaliação e execução.

Por fim, dentre as diversas tipologias de projetos previstas pela ANEEL existe a obrigatoriedade de investimento mínimo de 60% no segmento de consumidores enquadrados na subclasse residencial baixa renda¹. Dentre as ações principais nesta tipologia pode-se citar: substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas; troca de refrigeradores ineficientes por modelos que consomem menos energia; e a substituição de chuveiros de alta potência de até 7.5 kW por chuveiros de potência menor com a utilização de base recuperadora de calor ou sistemas solares (PRADO & GONAÇALVES, 1998).

Na figura 2 pode-se ver a síntese dos projetos realizados no país por tipologia e evidencia-se a maior aplicação de investimentos justamente no segmento de baixa renda.

¹São consumidores beneficiados pela Tarifa Social de Energia Elétrica conforme lei 12.212 de 20 de janeiro de 2012 e que estão no cadastro único para Programas Sociais do Governo Federal.

Figura 2 - Projetos por tipologia



Fonte: Superintendência de P&D e Eficiência Energética – SPE: Informações Gerenciais relativas ao Programa de Eficiência Energética

De maneira a contribuir com este cenário, a Rio Grande Energia (RGE) realiza diversas ações de eficiência energética em seus clientes tendo como objetivo a redução do consumo de energia. Uma destas ações é a substituição do aquecimento de água tradicional (chuveiro elétrico), patente do ano de 1950 (NOGUEIRA, 2007), por um modelo mais eficiente. Estudos mostram que o chuveiro elétrico é responsável por quase 26% da energia elétrica consumida nas residências brasileiras (NOGUEIRA, 2007) e consumindo cerca de 180 kWh por ano (LINS & SILVA, 1998 apud. GELLER & JANNUZZI, 1996).

A opção pela ação de eficiência energética, da troca do chuveiro por modelo de menor potência em conjunto com a base recuperadora de calor está embasada, além dos fatos citados acima, em levantamentos que apontam que na área de concessão da RGE, cerca de 99,7% do aquecimento de água é feito com energia elétrica², sendo que 100 % por meio de chuveiros elétricos. Aliado a isso, tem-se o fato que a utilização de chuveiros elétricos coincide com o período de maior pico de demanda do sistema elétrico (18h00min às 20h00min) e é, portanto, um candidato importante para medidas de conservação (SHCIPPER & JANNUZZI, 1991). Ainda, devido aos valores atuais da tarifa de energia e dos custos de implementação das tecnologias de aquecimento de água alternativas, não há vantagem econômica para os clientes investirem em alternativas para

²Fonte: (ELETROBRAS/PROCEL, 2005)

o chuveiro elétrico, cabendo então à concessionária fomentar esta ação (GELLER & JANNUZZI, 1998).

Desta forma, conclui-se que a escolha da ação de eficiência energética é assertiva e proporciona a inclusão social. Entretanto, é de fundamental importância a verificação dos resultados deste tipo de ação utilizando os protocolos de medição e verificação (M&V) com foco social e/ou energético (HEINEMEIER & AKBARI, 1996).

1.2 Justificativa

Políticas de conservação de energia, com mudanças tecnológicas, envolvem consumidores, fabricantes de tecnologias, setor elétrico e sociedade. Para o consumidor a introdução de uma nova tecnologia pode resultar em vantagens tais como: redução da conta de energia e melhor qualidade no atendimento do serviço final recebido (JANNUZZI & MADUREIRA, 1996).

Já para as concessionárias, a redução no consumo e demanda de energia, obtida dentro do PEE, posterga a necessidade de investimentos na expansão da capacidade instalada, sem comprometer a qualidade dos serviços prestados aos usuários finais, promovendo o equilíbrio tarifário e a competitividade do setor (GOLDEMBERG & LUCON, 2007).

Ainda, sabe-se que energia demandada pelo setor residencial no período de ponta do sistema elétrico é verificada, pelas concessionárias e pelo operador do sistema, por meio da demanda (maior potência média em cada intervalo de 15 min) (MELO, 2003) durante o período do dia. Entretanto, a carga elétrica não é identificada por tipo de uso, ou seja, a carga não é identificada pelos diversos aparelhos que utilizam energia elétrica. Estudos apontam que o chuveiro elétrico típico usa menos de 5% da disponibilidade energética que consome, e o resto é desperdiçado (NOGUEIRA, 2007). Apesar da importância deste aparelho na demanda no horário de pico e no consumo residencial, poucos estudos foram dedicados à verificação de resultados desta ação de eficiência energética (MELO, 2003).

Outro ponto observado é que a reutilização de água de descarte de processo para realizar pré-aquecimento, pode fornecer ganhos entre 30% a 55% no aquecimento de água (PROSKIW, 2013). Ainda, conforme resultados apresentados pelo laboratório de

ensaios de equipamentos solares (GEEN-PUC, 2000), segundo norma NBR 12089³, como vazão de 3,0 L/min, e temperatura de saída do chuveiro de 40,0°C foi possível evidenciar uma eficiência de aproximadamente 50% para a base recuperadora produzida pela Rewatt⁴.

Entretanto, sabe-se que quando da utilização do chuveiro pelo cliente final, não se tem a garantia da utilização do chuveiro nas condições estabelecidas acima podendo variar a vazão e a temperatura de conforto na utilização do chuveiro para cada usuário, requerendo análise para mais de uma condição. Visto isso, pretende-se avaliar neste trabalho a redução da potência com uso da base recuperadora de calor em conjunto com o chuveiro elétrico para diversas condições de uso (diferentes vazões).

Visto isso, observa-se que existe a necessidade de comprovação destes resultados quando aplicado aos usuários finais. Assim, campanhas de medição em projetos de eficiência energética desempenham um papel fundamental na avaliação das reais reduções de consumo conseguidas com cada projeto (ANEEL, 2008).

Neste sentido, dado a relevância deste equipamento, a proposta de dissertação de mestrado tem como objetivo realizar a comparação dos resultados obtidos, com duas metodologias de medição e verificação aderentes ao PIMVP, nas de trocas de chuveiros elétricos em comunidades de baixo poder aquisitivo gerando conhecimento específico.

A primeira metodologia é a determinada no PIMVP opção “B” com o *retrofit* isolado medindo todos os parâmetros de influência para determinação do consumo de energia. A outra metodologia é baseada na medição do consumo [kWh] e da potência máxima do chuveiro elétrico [W] estimando-se a demanda no período da ponta e o fator de coincidência na ponta (*FCP*) (COTRIM, 4ª edição), com base no trabalho coordenado pela ICF através da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ) e Jordão Engenharia para a Associação Brasileira de Distribuidoras de Energia (ABRADEE) onde é utilizado o PIMVP opção “A”.

Apesar da proposição teórica da ICF (ICF, 2011) estar bem fundamentada e também aderente ao PIMVP, entende-se que esta metodologia não leva em conta aspectos importante da questão comportamental do cliente de baixa renda, como o perfil de utilização do chuveiro, o qual pode ser mascarado pela medição acumulada da energia e registro apenas da demanda máxima. Espera-se ainda que o consumo total de energia em

³ (ABNT, 1989) Chuveiros elétricos - Determinação do consumo de energia elétrica - Método de ensaio.

⁴ Fabricante da base recuperadora estudada neste trabalho.

um domicílio seja afetado por mudanças em pelo menos cinco conjuntos de parâmetros os quais se pode citar como mais relevantes: a população (refletida no número de banhos e tempo de banho), condição de uso (refletida em termos da vazão e aumento da potência) e as variáveis climáticas (AGAMI et al.). Segundo (LAMBERTS et al., 2007) existe diferenças significativas no uso da eletricidade nas zonas bioclimáticas do Brasil sendo mais significativa para o chuveiro e ar condicionado.

Dessa forma, é proposto avaliar o redução de potência para um aquecimento de água em sistema de passagem individual (chuveiro elétrico) para diferentes condições de operação (vazão e potência) com utilização da base recuperadora de calor. Também, em complementação opção “A” de medição e verificação entende-se que apenas com a medição de todos os parâmetros de influência pode-se ter resultado mais preciso (opção “B”) e assim espera-se mostrar com esta dissertação que as estimativas feitas possam ser fatores decisivos na determinação da demanda na ponta.

1.3 Objetivos

O objetivo geral do trabalho é comparar duas metodologias de avaliação de resultados dos projetos de Eficiência Energética da ANEEL, uma baseada no trabalho da ICF utilizando a opção “A” e outra opção “B”, ambas do PIMVP. Esse comparativo se dará por meio das variáveis: energia e demanda retirada na ponta. Ainda, pretende-se avaliar a redução de potência em um chuveiro elétrico de passagem individual para aquecimento de água com a utilização da base recuperadora de calor para diferentes condições de operação (vazão e potência) quando comparado ao chuveiro sem a base.

Para atender ao objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Comparar os resultados obtidos das ações de troca de chuveiro na população beneficiada utilizando a opção “A” definida no trabalho da ICF e a opção “B” definida no PIMVP;
- b) Realizar as medições experimentais em campo conforme estabelecido nas duas metodologias;
- c) Analisar os resultados experimentais, comparando as metodologias no que tange a potência retirada da ponta;
- d) Avaliar qual a metodologia é mais assertiva na determinação dos resultados de economia dos projetos da ANEEL.

- e) Montar bancada experimental que permita avaliar a redução de potência do chuveiro com uso da base recuperadora de calor;
- f) Avaliar a redução de potência no chuveiro comparando o sistema sem a base recuperadora e com a base recuperadora para diferentes condições de operação (vazão e potência);
- g) Determinar qual a redução de potência média esperada com o sistema com base recuperadora em ambiente controlado.

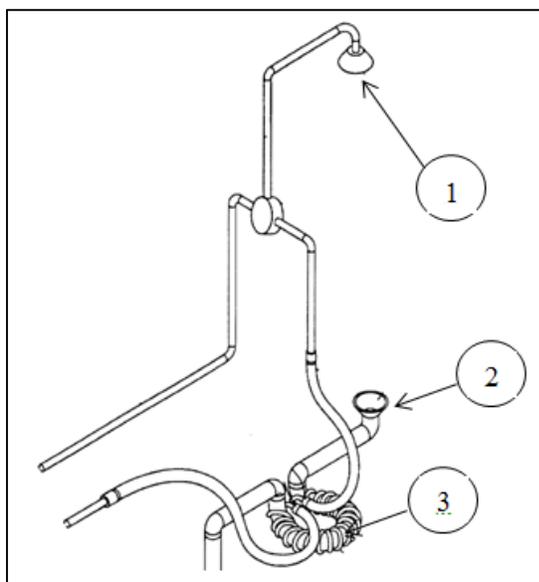
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Funcionamento do recuperador de calor

Trocador de calor é o dispositivo usado para realizar o processo da troca térmica entre dois fluidos em diferentes temperaturas. Pode-se utilizá-los no aquecimento e resfriamento de ambientes, no condicionamento de ar, na produção de energia, na recuperação de calor e nos processos químicos.

Na figura 3 é apresentado um exemplo simples de trocador de calor utilizado para recuperar calor junto ao chuveiro elétrico.

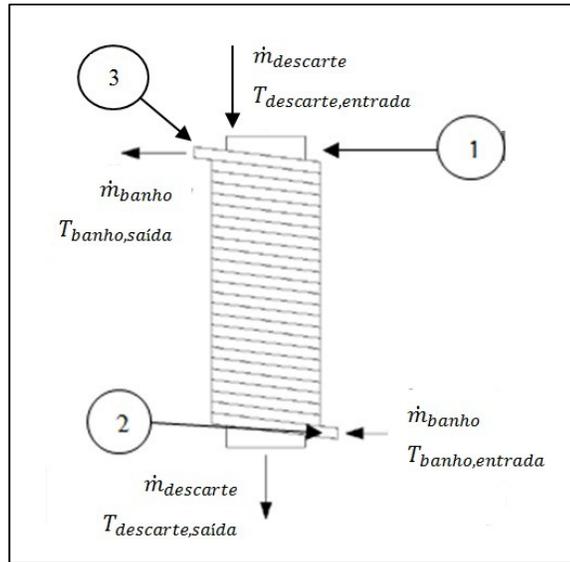
Figura 3 - Exemplo de recuperador de calor para chuveiro



Fonte: United States Patent number 5791401; (1) chuveiro, (2) saída de água do banho, (3) serpentina para troca térmica

Na figura 4 observa-se que a água que entra (água de descarte) em (1) não se mistura a água que entra (água de banho) em (2) e por meio da troca térmica permite a elevação de temperatura da água que sai (água de banho) em (3).

Figura 4 - Princípio de funcionamento do trocador de calor



Fonte: adaptado de (ESLAMI & BERNIER, 2009)

Pode-se definir a eficiência da troca por (1):

$$\varepsilon_{ss} = \frac{\dot{m}_{banho} \cdot C_p (T_{banho,saida} - T_{banho,entrada})}{\dot{m}_{descarte} \cdot C_p (T_{descarte,entrada} - T_{descarte,saida})} \quad (1)$$

A potência necessária no chuveiro pode ser calculada por meio da equação (2):

$$P_{Tc} = \dot{m}_{banho} \cdot C_p \cdot (T_{saida} - T_{banho,saida}) \quad (2)$$

Onde:

ε_{ss} = Eficiência da troca térmica,

C_p = Calor específico da água [4.184J/kg.K],

P_{Tc} = Potência no chuveiro para a troca térmica [W],

\dot{m}_{banho} = vazão mássica da água de admissão na base recuperadora [kg/s],

$\dot{m}_{descarte}$ = vazão mássica da água de descarte [kg/s],

$T_{banho,saida}$ = temperatura de saída da base recuperadora (igual a temperatura de admissão no chuveiro) [°C],

$T_{banho,entrada}$ = temperatura de admissão da base recuperadora [°C],

$T_{descarte,entrada}$ = temperatura da água que cai sobre a base recuperadora [°C],

$T_{descarte,saída}$ = temperatura da água que escoo da base recuperadora de calor [°C],

$T_{saída}$ = temperatura da água que sai do chuveiro [°C],

Observa-se que é considerada como temperatura da água que cai sobre a base recuperadora, a temperatura de saída do chuveiro onde é desprezando a perda térmica neste percurso do chuveiro até a base recuperadora de calor (BRUNO, 2008).

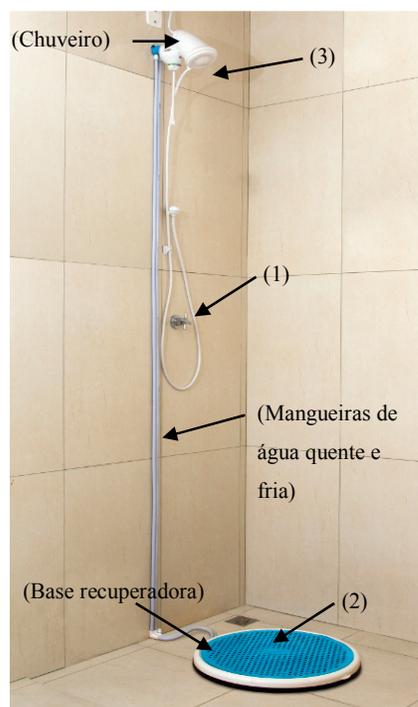
Dessa forma tem-se na equação (3):

$$T_{descarte,entrada} \approx T_{saída} \quad (3)$$

Observa-se ainda que a água que cai do chuveiro esta em contra fluxo em relação à água de admissão no recuperador, caso este de maior troca térmica (CENGEL, 2013).

O modelo a ser estudado é proposto na figura 5 que ilustra o funcionamento descrito a seguir.

Figura 5 - Recuperador de calor e chuveiro



Fonte: Autor

Ao ser aberto o registro de água (fria), visto em (1) na figura 5, a água é conduzida por uma mangueira até o trocador de calor (2), uma serpentina de alumínio em formato de espiral inicialmente estando com a mesma temperatura da água de admissão do trocador. A água sai do trocador com temperatura de saída igual à de admissão chegando ao chuveiro. O trocador de calor fica posicionado abaixo do chuveiro que entra em contato com a água quente que começa a cair deste (3), sendo então o trocador de calor aquecido. A partir daí a água de admissão passa a circular na serpentina passando pelo interior desta e permitindo a troca térmica entre a água que cai aquecida pelo chuveiro e a água com temperatura menor no interior do tubo. A água é levada até o chuveiro com uma temperatura de saída da serpentina maior que a temperatura de admissão, sendo aquecida no chuveiro por resistência elétrica (efeito Joule).

O trocador de calor estando abaixo do chuveiro começa a entrar em contato com a água do banho (quente) e passa a ser aquecido absorvendo a energia térmica da água, que antes era desperdiçada e jogada no ralo. O calor é então transmitido a água que entra na serpentina, realizando um pré-aquecimento antes de entrar no chuveiro com uma temperatura maior que a temperatura de admissão do trocador.

2.2 Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Desempenho

O desenvolvimento do PIMVP foi iniciado nos anos 90, por um grupo de voluntários reunidos por iniciativa do departamento de energia dos Estados Unidos (DOE – *Department of Energy*). Este grupo foi motivado pelos baixos investimentos em projetos de eficiência energética devido a incertezas relacionadas às economias futuras, a serem obtidas por meio destas ações.

Ao longo dos anos, as boas práticas desenvolvidas para verificação dos resultados de projetos de eficiência energética foram reunidas e em 1997 foi lançado o primeiro PIMVP pela EVO, sendo o último lançado em 2012.

Uma das grandes vantagens deste protocolo é exatamente o fato de que ele não apresenta regras determinativas para mensuração de resultados, mas sim orientavas. Deve-se lembrar de que cada projeto apresenta suas características singulares.

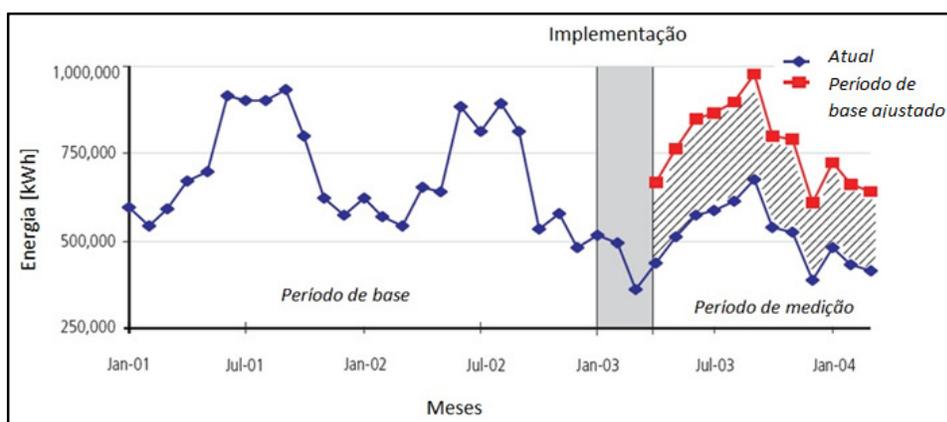
2.2.1 Determinação das economias

As economias são determinadas pela comparação dos consumos medidos de energia ou demanda antes e após a realização de uma ação específica de eficiência energética.

Tomando-se com base a figura 7, um entendimento equivocado é que as economias de energia são obtidas simplesmente calculando a diferença direta entre os consumos medidos após a realização da ação no período de medição (*pós-retrofit*) e o que existia antes no período de base (*pré-retrofit*).

Uma alternativa que surge para corrigir este problema é a projeção do consumo no período de medição (*pós-retrofit*) para a situação no período de base (*pré-retrofit*). Outra opção é realizar as medições tomando a mesma linha de base (*baseline*).

Figura 6 - Exemplo de histórico de consumo de energia



Fonte: (U.S. Department of Energy, 2007)

O termo *baseline* tem se configurado como apropriado para definir um período representativo, juntamente com as características de uso de energia que servirá de referencial básico para futuras estimativas de economia de energia (COWAN & SCHILLER, 1997). As informações necessárias para se determinar o *baseline* devem abranger no mínimo um período onde aparecem todas as influências das variáveis envolvidas no processo ou onde suas influências permaneçam constantes.

Levando-se em consideração que estas condições raramente permanecem constantes ou o tempo de medição poderia ser longo implicando em aumentos

significativos de custos, se faz necessária à realização de ajustes, que deverão compensar as mudanças ocorridas (FREIRE, 2001 apud. WILLSON, 1998).

A necessidade de se fazer ajustes comprova assim que não basta simplesmente calcular a diferença direta entre os consumos medidos nos períodos pré-*retófit* e pós-*retófit*. O resultado final é que apesar do processo envolver instrumentos de medidas e equações matemáticas, a determinação das economias é mais uma arte que uma ciência (COWAN & SCHILLER, 1997).

Dessa forma, podem-se calcular as economias por meio das equações genéricas definidas como energia economizada e redução de demanda na ponta.

2.2.2 Energia Economizada

Pode ser obtida por (1):

$$EE = [(C_1 \times 10^{-3}) - (C_2 \times 10^{-3})] \pm Ajustes \quad (1)$$

onde EE é a energia elétrica economizada [MWh/ano], C_1 é o consumo de referência do sistema existente [kWh/ano], C_2 é o consumo de referência do sistema proposto [kWh/ano]. Os *Ajustes* são os fatores de correção para uma dada condição.

2.2.3 Redução de Demanda na Ponta

A redução de demanda no período da ponta (RDP) pode ser obtida por (2):

$$RDP = (P_1 \times FCP_1 - P_2 \times FCP_2) \pm Ajuste \quad (2)$$

onde RDP é a redução de demanda na ponta [kW], P_1 é a potência do sistema existente [kW], P_2 é a potência do sistema do sistema proposto [kW], FCP_1 é o fator de coincidência na ponta do sistema existente, FCP_2 é o fator de coincidência na ponta do sistema proposto. Os *Ajustes* são os fatores de correção para uma dada condição.

O termo “Ajustes” em (2) tem a função de trazer o uso de energia a dois períodos de tempo, no mesmo conjunto de condições. Os ajustamentos podem ser positivos ou negativos e são derivados de fatos físicos identificáveis.

Entretanto, como se espera que devido ao curto período de medição as variáveis independentes, como temperatura e o número de moradores, que poderiam influenciar o consumo não se alterarão, não haverá a necessidade de ajustes para o domicílio (ICF, 2011).

2.2.4 Opção A - Medição parcial de retrofit isolado

Esta opção se aplica com mais frequência a cargas individuais ou sistemas específicos como um sistema de iluminação, onde as condições de *baseline* são bem entendidas e as horas de operação não são sujeitas a mudanças importantes. A precisão desta opção é inversamente proporcional à complexidade da medida. A precisão média esperada fica em torno de 20 %. Os custos irão depender da quantidade de pontos de medição, variando de 1% a 5% do custo do projeto de *retrofit* (INEE, 2001).

As economias são determinadas por medições de campo parciais do uso de energia do(s) sistema(s) aos quais foi aplicada uma ação, separadamente do uso da energia do restante da instalação.

As medições podem ser de curto prazo ou contínuas. Medições parciais significam que alguns, mas não todo(s) o(s) parâmetro(s) pode(m) ser estipulado(s), se o impacto total dos possíveis erros de estipulação não forem significativos para as economias resultantes. Uma cuidadosa revisão do projeto da ação e instalação assegurará que os valores estipulados representam razoavelmente o valor real provável. As estipulações devem ser mostradas no plano de M&V juntamente com a análise da importância do erro que elas podem provocar.

2.2.5 Opção B - Medição total de retrofit isolado

Nesta abordagem as cargas individuais são continuamente monitoradas para determinar o desempenho e este é comparado às condições do *baseline* para se determinar as economias.

As economias são determinadas por medições de campo do uso de energia dos sistemas aos quais a ação foi aplicada, em separado do uso de energia do restante da instalação. As medições de curto prazo ou contínuas são feitas durante o período pós-*retrofit*.

O uso de medições de longo prazo é recomendado para compensar as variações de operação que ocorrem durante um longo período de tempo, favorecendo a aproximação

das economias calculadas das reais, diferente do que acontece com o uso de estipulações definido para a opção “A”.

2.3 Amostragem

Em estatística, a amostragem é o processo de obtenção de amostras que são uma pequena parte de uma população. Dentre as várias técnicas existentes uma delas é amostragem aleatória simples na qual toda amostra possível de mesmo tamanho tem a mesma chance de ser selecionada a partir da população. Em geral, esta técnica é simples e se mostra apropriada para seleção das amostras no processo de medição.

2.3.1 Clusters de clientes

Objetivando a avaliação das ações por segmento beneficiado pelo desconto da Tarifa Social de Energia⁵, pode-se dividir a população em sub-conjuntos homogêneos denominados *clusters*. Estes *clusters* terão seus limites definidos com base no critério de consumo de energia conforme a resolução normativa nº 414⁶, de 9 de setembro de 2010 como segue:

I – para a parcela do consumo mensal de energia elétrica inferior ou igual a 30 (trinta) kWh, o desconto será de 65% (sessenta e cinco por cento);

II – para a parcela do consumo mensal superior a 30 kWh e inferior ou igual a 100 kWh, o desconto será de 40%;

III – para a parcela do consumo mensal superior a 100 kWh e inferior ou igual a 220 kWh, o desconto será de 10%; e

IV – para a parcela do consumo mensal superior a 220 kWh, não incide desconto.

2.3.2 Tamanho das amostras

Para seleção de amostras para medição a ANEEL orienta que seja feito baseado em um plano de amostragem definido pela norma NBR 5426⁷ com regime de inspeção

⁵ Tarifa aplicada a aqueles consumidores ditos “baixa Renda” inseridos no cadastro único para Programas Sociais do Governo Federal.

⁶ Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada.

⁷ NBR 5426 (ABNT, 1989) Plano de amostragem e procedimentos de inspeção.

severa, nível I, conforme tabela 2, que apresenta para cada faixa populacional a quantidade mínima de amostras necessárias:

Tabela 2 - Tamanho da amostra por faixa populacional

Faixa Populacional		Nº mínimo de amostra
Início	Fim	
2	8	2
9	15	2
16	25	3
26	50	5
51	90	5
91	150	8
151	280	13
281	500	20
501	1.200	32
1.201	3.200	50
3.201	10.000	80
10.001	35.000	125
35.001	150.000	200
150.001	500.000	315
500.001	501.000	500

Fonte: (ICF, 2011)

Observa-se que o início e fim constituem os limites do intervalo onde a quantidade de clientes beneficiados é enquadrada e a partir disto definida a amostra mínima.

2.3.3 Precisão e intervalo de confiança esperada

Em princípio, não existe uma regra pré-definida no PIMVI com respeito à confiabilidade do processo para seleção das amostras. Conforme este mesmo protocolo, há de se avaliar o custo de medição versus precisão e intervalo de confiança desejados. Este mesmo protocolo sugere intervalo de confiança de 90% e precisão relativa de 10%.

2.3.4 Sazonalidade

Outro ponto muito importante é a forma de distribuição das medições amostrais ao longo do tempo que é um fator determinante na realização, ou não, de ajustes quando se extrapola o resultado das economias de energia na amostra para o período de um ano.

Quando se mede a variação de consumo e a demanda em cada domicílio, busca-se realizá-la no menor tempo possível para preservar os parâmetros de influência de cada residência (ex. temperatura ambiente) (ICF, 2011).

Para obter-se uma distribuição das medições amostrais que contemple todas as variações climáticas e os padrões de hábitos de consumo ao longo de um ano, o ideal é que ela seja realizada ao longo de 12 meses, entretanto isso pode demandar custos elevados, os quais não poderiam ser suportados pelos projetos da ANEEL.

2.4 Variáveis de influência

Todo o modelo matemático é uma descrição do comportamento de um sistema sendo constituído por componentes (BECK & ARNOLD, 1977).

No processo de mensuração dos resultados identificam-se variáveis que afetam diretamente os resultados das medidas de conservação de energia sendo chamadas de variáveis independentes ou de entrada. Podem ainda se constituírem de dois tipos: as controladas pelo experimento ou as incontroláveis (ex., clima).

São variáveis independentes que afetam diretamente os resultados das medidas de conservação de energia no sistema de aquecimento de água:

- potência do sistema existente (P_1), que é a quantidade de energia elétrica solicitada na unidade de tempo do equipamento existente antes da realização da ação (*pré-retrofit*) [W].
- potência do sistema proposto (P_2), que é a quantidade de energia elétrica solicitada na unidade de tempo o equipamento proposto após a realização da ação (*pós-retrofit*) [W].
- tempo de funcionamento (tf), que é o tempo em que o equipamento permanece ligado consumindo energia expressa em minutos.

- período de operação ou FCP , que é um valor entre “0 e 1” e compreende a razão entre o tempo de funcionamento de um equipamento durante o período de ponta (18h às 21h) e o tempo do período de ponta. Na metodologia “A” esse parâmetro é estimado com base nas informações coletadas em pesquisas junto aos clientes. Já na opção “B” este parâmetro é calculado com base nos resultados das medições por meio de (4):

$$FCP = \frac{\text{tempo total de funcionamento no intervalo de } 18h - 21h}{3} \quad (4)$$

- Temperatura ambiente (Ta), que é a temperatura [°C] local em que se verifica a utilização do equipamento. Além de ser uma variável independente é também incontrolável.

No âmbito global da determinação da economia de energia obtida nas ações de eficiência energética, a quantidade de equipamentos instalados também constitui uma variável independente.

Outro aspecto importante é a distinção do tempo de permanência no banho relativo à variável gênero (ELETROBRAS/PROCEL, 2006), entretanto este aspecto não será objeto de análise.

A partir da variável de entrada, tem-se uma resposta que descreve a reação do sistema estudado. O consumo de energia é muitas vezes uma variável resposta. Dessa maneira tem-se como variáveis dependentes:

- consumo do sistema existente (C_1) expresso em [kWh]. É determinado através das medições descritas na metodologia antes da realização da ação (*pré-retrofit*).

- consumo do sistema proposto (C_2) expresso em [kWh]. É determinado através das medições descritas na metodologia após a realização da ação (*pós-retrofit*).

- demanda na ponta do sistema existente (D_1) que é a demanda média das potências ativas e reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da potência instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado, em geral de 15 minutos [kW].

- demanda na ponta do sistema proposto (D_2) que é a demanda a média das potências ativas e reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da potência instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado, em geral de 15 minutos [kW].

3 MATERIAIS E MÉTODOS

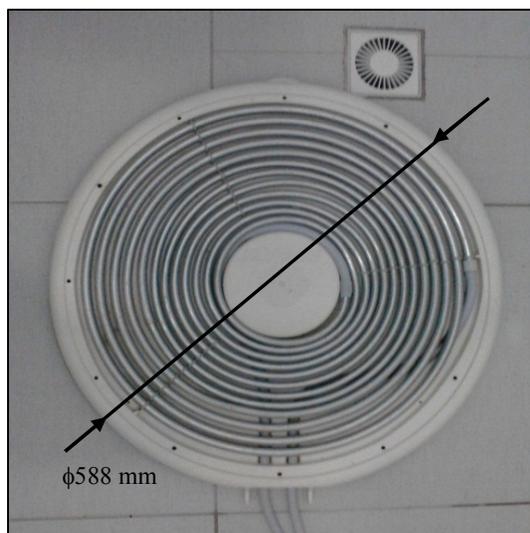
3.1 Introdução

Este capítulo apresenta a metodologia proposta para aferição dos resultados, quando compara-se duas alternativas para avaliação dos projetos que foram definidas na função objetivo, a fim de garantir que as medições e estimativas sejam realizadas conforme os procedimentos aqui estabelecidos. Ainda, são apresentados ao longo do capítulo todas as dificuldades e materiais utilizados na realização deste trabalho. Também é detalhado o procedimento de verificação da redução de potência no chuveiro com uso da base recuperadora de calor e todos os resultados experimentais obtidos.

3.2 O trocador

A figura 6 mostra a base recuperadora de calor para chuveiro elétrico utilizado no estudo.

Figura 7 - Base recuperadora de calor



Fonte: Autor

3.2.1 Material e Dimensões da Caixa Externa (Plataforma)

A plataforma apresenta as seguintes características técnicas:

- a) Material composto de PRFV (polímero reforçado de fibra de vidro);
- b) Altura de 40 mm;
- c) Diâmetro externo de 588 mm.

3.2.2 Material e Dimensões da Serpentina (Núcleo do Recuperador de Calor)

Na elaboração da serpentina são utilizados dois segmentos retos de tubos com as seguintes características:

- d) Material composto de alumínio;
- e) Espira Externa;
 - i. Diâmetro externo do tubo de 12,7 mm;
 - ii. Espessura da parede de 0,7 mm;
 - iii. Comprimento de 6.500 mm;
- f) Espira Interna;
 - iv. Diâmetro externo do tubo de 11,7 mm;
 - v. Espessura da parede de 0,7 mm;
 - vi. Comprimento de 6.000 mm.

A espira interna e espira externa são unidas por solda química e grampo mecânico que por motivos fabris de produção do fabricante não é possível ser feito de maneira continua. As mesmas são posteriormente espiraladas como pode ser visto na figura 7.

3.3 Metodologias de medições aplicadas

Para realizar a comparação entre as duas metodologias de M&V e verificar seus resultados, o primeiro passo do trabalho é garantir que as medições e estimativas sejam realizadas conforme os procedimentos estabelecidos em cada metodologia.

De maneira sintética, pode-se observar no quadro 1 a metodologia “A” definida para medição e verificação dos resultados, conforme trabalho da ICF. Segundo esta metodologia, a qual é aderente ao PIMVP, onde os parâmetros principais estabelecidos para medição são o consumo de energia [kWh] e a potência máxima do chuveiro elétrico [W]. Estima-se, neste caso, a demanda no período de ponta e o fator de coincidência no período da ponta.

Para as estimativas da demanda no período da ponta considera-se a premissa que a potência de cada chuveiro quando acionado, antes e depois do *retrofit*, é igual à potência máxima encontrada no registrador com memória de massa. Adicionalmente, calcula-se com base nas entrevistas com os usuários onde se tem os dados por cliente, o tempo médio de banho e quantidade média de vezes que o chuveiro é utilizado no período da ponta. A partir daí obtém-se o fator de coincidência no período da ponta.

Ainda, observa-se que as informações do tempo de uso não são relevantes para o processo de medição e verificação do consumo de energia, pois esta variável é capturada na forma do consumo acumulado no equipamento registrador.

Uma estrutura sintética da opção “A” é apresentada no quadro 1.

Quadro 1: Quadro sintético para medição e verificação opção “A”

Uso Final	Variável de interesse				Procedimento			
	Potência (W)	Tempo de uso	Consumo (kWh)	Demanda na Ponta (W)	Local de medição	Tempo de medição	Intervalo entre medições	Tempo total da medição
Aquecimento de água	Registrador de demanda máxima	Não é medido nesta opção	Acumulador de consumo	Estimado	Chuveiro	7 dias	1 dia	15 dias

Fonte: (ICF, 2011)

Posteriormente adota-se a opção “B”, onde os parâmetros para medição, capazes de influenciar o resultado, são o: consumo de energia [kWh] e a curva de demanda do chuveiro elétrico [W]. A partir da curva de demanda do chuveiro é tomada a potência média encontrada para determinação da redução de potência do conjunto e retirada de demanda na ponta.

As duas metodologias são aplicadas simultaneamente com a utilização do registrador de grandezas com memória de massa.

De maneira sintética a opção “B” pode ser vista com a definição de suas variáveis e processo no quadro 2.

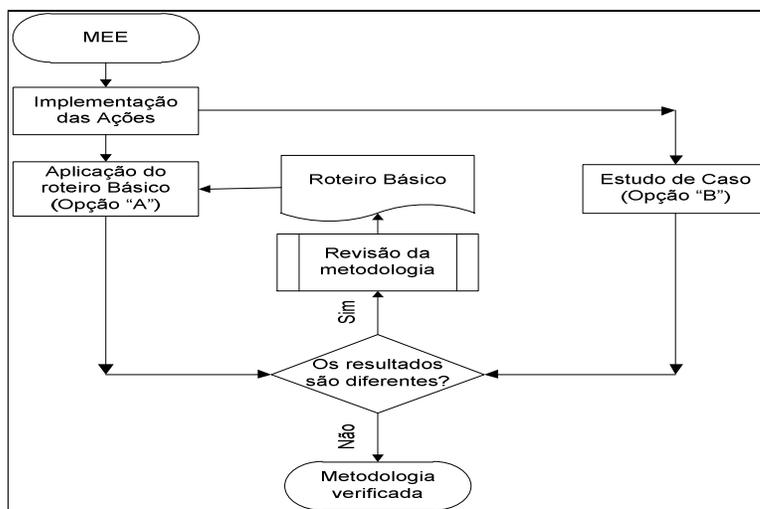
Quadro 2: Quadro sintético para medição e verificação opção “B”

Uso Final	Variável de interesse				Procedimento			
	Potência (W)	Tempo de uso	Consumo (kWh)	Demanda na Ponta (W)	Local de medição	Tempo de medição	Intervalo entre medições	Tempo total da medição
Aquecimento de água	Registrador de grandezas				Chuveiro	7 dias	1 dia	15 dias

Fonte: (ICF, 2011)

Reforça-se que é previsto no trabalho da ICF a validação da proposta de medição com a opção “A” em denominados “Estudos de Casos” aferidos pela opção de medição “B”. Na figura 8 mostra-se este fluxo para melhoria do processo.

Figura 8 - Fluxograma do processo de validação da metodologia ICF



Fonte: (ICF, 2011) desenvolvida pelo autor.

3.4 Amostras

No âmbito do projeto beneficiou-se, com as ações de trocas de chuveiros aliada a utilização da base recuperadora, uma população de 1.118 clientes sendo esses estratificados pela faixa de consumo conforme pode ser visto na tabela 3.

Com base nessa população, considerando a NBR 5426 com regime de inspeção severa nível I, definem-se as amostras mínimas por faixa de consumo (tabela 3). Paralelamente calculou-se a quantidade de mostras mínimas para um intervalo de confiança de 95% e 5% de significância considerando população finita. Verificou-se para

cada faixa o atendimento as duas condições, NBR5426 e intervalo de confiança de 95%, e ainda as quantidades de medições disponibilizadas em contrato. Desta forma, selecionou-se, através do aplicativo *excel*⁸ (LAPPONI, 2005) a quantidade definida de unidades consumidoras (UC) de maneira aleatória atendendo as duas restrições.

Tabela 3 - Quantidade de clientes beneficiados por faixa de consumo

Faixas de consumo (kWh)	N	Qtd. Amostras		
		NBR5426	Cálculo para intervalo de confiança 95%	Utilizado por força do contrato
De 0 a 30	8	2	1,08	3
De 30 a 100	139	8	52,66	54
De 100 a 220	971	32	65,18	70
TOTAL	1.118	42	118,92	127

Fonte: Desenvolvido pelo autor

3.5 Medições utilizando opção “A”

No universo de clientes selecionados para a amostra de medição realizam-se as medições antes da implementação da ação de eficiência energética (*pré-retrofit*). Para isso utiliza-se medidor registrador com memória de massa capaz de mediar o consumo acumulado e demanda máxima por um período de 7 dias interruptos. O medidor foi instalado na casa do cliente com sua concordância por meio de ordens de serviço (figura 9).

Figura 9 - Registrador instalado na casa do cliente



Fonte: Desenvolvido pelo autor

⁸ Utilizou-se a função de seleção aleatória inclusa no aplicativo excel.

Posterior a implementação das medidas de conservação de energia (pós-*retrofit*) utiliza-se o mesmo medidor para medir o consumo acumulado e demanda máxima novamente por um período de 7 dias interruptos. Com este procedimento espera-se manter constante o erro associado ao equipamento na realização das medições. Ainda, destaca-se que as medições pré-*retrofit* e pós-*retrofit* foram feitas em sequencia e que não há intervalo entre elas.

Para a estimativa da demanda na ponta referente a cada chuveiro elétrico, verifica-se a demanda máxima registrada no equipamento de medição. Aliado a isso verificou-se, por meio das fichas de pesquisa antes do *retrofit*, a quantidade média de banhos realizados no período de ponta e a duração média dos banhos e calcula-se o *FCP*. Admite-se que o perfil de utilização do chuveiro no pós-*retrofit* permaneça o mesmo do pré-*retrofit*, pois a medida de eficiência energética não ira alterar os hábitos de utilização pelo cliente.

Ao término do período de medição retira-se o equipamento de medição, o qual tem seus dados disponibilizados em planilha *excel*. Utiliza-se *software* específico do fornecedor do registrador para realizar o tratamento dos dados aquisitados pelo mesmo.

3.6 Medições utilizando opção “B”

As medições são realizadas simultaneamente com o mesmo equipamento que efetua as medições conforme opção “A”. Tem-se como diferencial no processo a geração da curva de carga e consequentemente o tempo de utilização dos equipamentos e demanda na no período de ponta. Para essa demanda no período da ponta considera-se a potência média verificada no período. Utiliza-se o tempo de funcionamento dos equipamentos na ponta para determinar o *FCP*.

3.7 Cálculo dos resultados para opção “A”

Uma vez realizadas todas as medições, calcula-se a redução no consumo em cada domicílio por meio de (1).

Também calcula-se a energia total economizada da amostra através de (5):

$$EE_T = \sum [(C_1 \times 10^{-3}) - (C_2 \times 10^{-3})] \quad (5)$$

onde EE_T é a energia total economizada [MWh/ano], C_1 é o consumo do sistema existente [kWh/ano] e C_2 é o consumo do sistema proposto [kWh/ano].

Posterior a isso se determina o consumo médio da amostra para o período de um ano por meio de (6):

$$EE_{med} = \frac{\frac{EE_T}{n} \times 365}{N_m} \quad (6)$$

onde EE_{med} é a energia média economizada na população [MWh/ano], N_m é o número de dias de medição (igual para as medições antes e depois, ou seja 7 dias) e n é o tamanho da amostra.

A partir da energia média economizada da amostra projeta-se seu valor para toda a população.

Para a demanda no período de ponta calcula-se por meio de (2) para cada cliente tomando-se a demanda máxima registrada no equipamento. Estima-se o FCP segundo pesquisa de utilização do equipamento informada pelo cliente. Tem-se a premissa que o habito de utilização do cliente não é alterado com a medida de eficiência energética assim sendo FCP_1 é igual a FCP_2 .

A redução de demanda na ponta total da amostra é determinada por meio da equação (7):

$$RDP_T = \sum (P_1 \times FCP_1 - P_2 \times FCP_2) \quad (7)$$

onde RDP_T é a redução total da demanda na ponta [kW], P_1 é a potência do sistema existente [kW], P_2 é a potência do sistema proposto [kW], FCP_1 é o fator de coincidência do sistema existente e FCP_2 é o fator de coincidência do sistema proposto.

A demanda na ponta média da amostra é calculada com base em (8):

$$RDP_{med} = \frac{RDP_T}{n} \quad (8)$$

onde RDP_{med} é a redução de demanda média na amostra [kW].

A partir da média da demanda na ponta da amostra projeta-se seu valor para toda a população.

3.8 Cálculo dos resultados para opção “B”

Para o resultado de energia obtido com a metodologia “B” calcula-se conforme (5) e (6). Estes resultados devem ser os mesmos que os obtidos na opção “A” uma vez que estão utilizando o mesmo equipamento de medição e as mesmas bases de tempo.

A partir dos dados aquisitivos no registrador tem-se a curva de demanda do chuveiro. De posse da curva de carga comparam-se os tempos médios de banhos informados pelo cliente e o realmente praticado. Ainda, avalia-se a ocorrência da mudança ou não no perfil de utilização do chuveiro no pós-*retrofit* comparado ao pré-*retrofit*.

Com os dados acumulados na memória de massa podem-se identificar em cada horário as potências coincidentes e compara-se a sua relação com a potência de todos equipamentos caso tivessem sido usados simultaneamente.

Tendo a quantidade de banhos e o tempo médio de banho calcula-se, utilizando (4), o *FCP* real e conseqüentemente o erro entre o valor real e o valor estimado.

Para a demanda na ponta calcula-se por meio de (2) para cada cliente tomando-se a potência média medida no período.

Determina-se a redução de demanda na ponta total da amostra por meio de (7) e a demanda média da amostra por (8) e compara-se com o valor obtido pela opção “A”.

Espera-se assim ter um comparativo entre os resultados das diferentes metodologias, com uma margem de erro e confiabilidade aceitáveis, de maneira a escolher qual o melhor procedimento de verificação dos resultados a fim de obter-se o menor impacto na relação custo benefício do projeto (RCB).

3.9 Determinação da redução da potência com uso da base recuperadora

Para verificação da redução da potência no chuveiro com uso da base recuperadora de calor realizam-se ensaios para diferentes vazões para cada uma das condições de potência. Testam-se as vazões de 2,5 L/mim, 3,0 L/mim, 3,5 L/mim e 4,0 L/mim para cada potência do chuveiro ajustando em 3 kW, 3,5 kW, 4 kW, 4,5 kW, 5 kW, 5,5 kW e 6kW.

Adotam-se os seguintes passos para levantamento das medidas em cada ensaio:

1) Abrir o registro do fornecimento de água com o chuveiro desligado da rede elétrica, para garantir que toda a tubulação e os medidores de temperatura estejam em um banho a mesma temperatura (temperatura da água da rede). Neste momento realiza-se a medição da temperatura de saída do chuveiro ($T_{saída}$) a 15 cm do chuveiro. Nesta condição afirma-se que a temperatura de admissão no recuperador ($T_{banho,entrada}$) é a mesma que a temperatura de saída do chuveiro ($T_{saída}$). Após a medição da temperatura, fecha-se o registro.

2) O chuveiro é ligado e ajustado para a potência de teste. Abre-se o registro, aguardamos aproximadamente 2 minutos para homogeneização e equilíbrio do sistema. O equilíbrio também é verificado pela ausência de variação na temperatura de saída do chuveiro ($T_{saída}$).

3) Utilizando um balde graduado, um cronômetro é feita a medição de vazão e ajuste para a vazão de teste.

4) Uma vez ajustado é medida a temperatura de saída do chuveiro ($T_{saída}$). Também é verificada a potência instantânea registrada no medidor de energia para a posição do chuveiro selecionada.

Observa-se que as medições serão realizadas em ambiente controlado.

3.10 Equipamentos de medição

Utiliza-se para a medição das variáveis elétricas, equipamento registrador com memória de massa. Para temperatura utiliza-se termopar associado a um multímetro digital.

3.10.1 Registrador com memória de massa

Para as medições de energia e potência foi utiliza-se medidor ELO conforme visto na figura 10.

Figura 10 - Medidor instalado



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Garante-se que os equipamentos devem estar de acordo com as normas técnicas vigentes, classe de exatidão requisitada pelo Prodlist/ANEEL⁹ e medidores homologados pelo INMETRO e com laudos de calibração pelo controle metrológico de fabricação. As características técnicas dos registradores são as que seguem:

- modelos ELO 2160, ELO 2113 D , 2113 I e 2123;
- precisão de 0,2% conforme IEC 60688;
- faixa de tensão: 30 a 300 Vca;
- corrente de 0,01 a 1 A e de 0,1 a 10 A;
- variáveis medidas são tensão (V), corrente (A), potência ativa (W), potência reativa (kVar) e o fator de potência (FP).

3.10.2 Medidor de temperatura (termopar)

A medição da temperatura na admissão da água do recuperador de calor (T_a) faz-se através de um sensor tipo termopar tipo K instalado na caixa de água com leitura direta em multímetro digital.

⁹ PRODIST são documentos elaborados pela ANEEL e normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

Mede-se a temperatura de saída do chuveiro (T_s) com mesmo equipamento a 15 cm do chuveiro com utilização de superfície metálica isolada para aumentar a área de contato do sensor (disco metálico em alumínio pintado de 10 cm de diâmetro). As características técnicas do multímetro são as que seguem:

- modelo Mimipa MT455;
- display de 3 1/2 dígitos;
- precisão do multímetro de $-60^{\circ}\text{C} \sim 1372^{\circ}\text{C} \pm (0.1\%+1.0^{\circ}\text{C})$;
- tipo de transdutor tipo K (NiCr-NiAl);
- faixa de -40°C a 204°C ;
- precisão do transdutor de $\pm 0.75\%$ ou $\pm 2.2^{\circ}\text{C}$;
- comprimento do cabo de aprox. 1 m.

4 RESULTADOS

4.1 Resultados da base recuperadora de calor

Para verificação da redução de potência com uso da base recuperadora de calor realizam-se os ensaios para diferentes potências do chuveiro e diferentes vazões e assim determinam-se as reduções de potência para cada uma das condições. Inicialmente testou-se cada uma das vazões de 2,5 L/mim, 3,0 L/mim, 3,5 L/mim e 4,0 L/mim sem a base recuperadora para cada potência ajustada no chuveiro. Com base no resultado, gerou-se o modelo de ajuste ao conjunto de pontos para a variável potência. Refizeram-se os mesmos testes com a base recuperadora. A partir disso e utilizando o modelo ajustado, verificou-se para a temperatura de saída obtida ($T_{saída}$), qual a potência requerida no sistema sem base. Por meio da diferença entre a potência utilizada com a base recuperadora e a potência requerida sem a base, para uma mesma temperatura de referencia, determinou-se a redução na potência.

Para a vazão de 2,5 L/mim, obteve-se o modelo ajustado sem recuperador aos pontos a baixos $P(T_{saída}) = 0,1718 \cdot T_{saída} - 1,0964$ cujos dados seguem na tabela 4.

Tabela 4 - Redução de potência para vazão de 2,5 L/mim

Sem Recuperador		Com Recuperador			Redução[kW] (b)-(a)	Redução[%]
P[kW]	$T_{saída}$ [°C]	P[kW] (a)	$T_{saída}$ [°C]	P($T_{saída}$) (b)		
3,00	24,00	3,00	29,00	3,89	0,89	22,88
3,50	27,00	3,50	35,00	4,92	1,42	28,86
4,00	29,00	4,00	37,00	5,26	1,26	23,95
4,50	33,00	4,50	42,00	6,12	1,62	26,47
5,00	35,00	5,00	47,00	6,98	1,98	28,37
5,50	39,00	5,50	52,00	7,84	2,34	29,85
6,00	41,00	6,00	54,00	8,18	2,18	26,65
					Média	26,72

Fonte: desenvolvido pelo autor

Observa-se uma redução média na potência de 26,72% com a utilização da base recuperadora de calor para a vazão de ensaio.

Para a vazão de 3,0 L/mim, obteve-se o modelo ajustado sem recuperador aos pontos a baixos $P(T_{saída}) = 0,1881.T_{saída} - 1,8969$ cujos dados seguem na tabela 5.

Tabela 5 - Redução de potência para vazão de 3,0 L/mim

Sem Recuperador		Com Recuperador			Redução[kW] (b)-(a)	Redução[%]
P[kW]	$T_{saída}$ [°C]	P[kW] (a)	$T_{saída}$ [°C]	P($T_{saída}$) (b)		
3,00	26,00	3,00	32,00	4,12	1,12	27,18
3,50	29,00	3,50	38,00	5,25	1,75	33,33
4,00	32,00	4,00	40,00	5,63	1,63	28,95
4,50	34,00	4,50	44,00	6,38	1,88	29,47
5,00	35,00	5,00	47,00	6,95	1,95	28,06
5,50	40,00	5,50	51,00	7,70	2,2	28,57
6,00	42,00	6,00	53,00	8,07	2,07	25,65
					Média	28,75

Fonte: desenvolvido pelo autor

Observa-se uma redução média na potência de 28,75% com a utilização da base recuperadora de calor para a vazão de teste. Ainda, essa é a condição de operação dos equipamentos instalados em campo na residência do cliente.

Para a vazão de 3,5 L/mim, obteve-se o modelo ajustado sem recuperador aos pontos a baixos $P(T_{saída}) = 0,2605.T_{saída} - 3,4277$ cujos dados seguem na tabela 6.

Tabela 6 - Redução de potência para vazão de 3,5 L/mim

Sem Recuperador		Com Recuperador			Redução[kW] (b)-(a)	Redução[%]
P[kW]	$T_{saída}$ [°C]	P[kW] (a)	$T_{saída}$ [°C]	P($T_{saída}$) (b)		
3,00	24,00	3,00	29,00	4,13	1,13	27,36
3,50	27,00	3,50	35,00	5,69	2,19	38,49
4,00	29,00	4,00	37,00	6,21	2,21	35,59
4,50	31,00	4,50	40,00	6,99	2,49	35,62
5,00	32,00	5,00	41,00	7,25	2,25	31,03
5,50	34,00	5,50	43,00	7,78	2,28	29,31
6,00	36,00	6,00	48,00	9,08	3,08	33,92
					Média	33,05

Fonte: desenvolvido pelo autor

Observa-se uma redução média na potência de 33,05% com a utilização da base recuperadora de calor para a vazão de ensaio.

Para a vazão de 4,0 L/mim, obteve-se o modelo ajustado sem recuperador aos pontos a baixos $P(T_{saída}) = 0,2605 \cdot T_{saída} - 2,9438$ cujos dados seguem na tabela 7.

Tabela 7 - Redução de potência para vazão de 4,0 L/mim

Sem Recuperador		Com Recuperador			Redução[kW] (b)-(a)	Redução[%]
P[kW]	$T_{saída}$ [°C]	P[kW] (a)	$T_{saída}$ [°C]	P($T_{saída}$) (b)		
3,00	23,00	3,00	29,00	4,61	1,61	34,92
3,50	25,00	3,50	31,00	5,13	1,63	31,77
4,00	26,00	4,00	33,00	5,65	1,65	29,20
4,50	29,00	4,50	38,00	6,96	2,46	35,34
5,00	30,00	5,00	39,00	7,22	2,22	30,75
5,50	33,00	5,50	42,00	8,00	2,5	31,25
6,00	34,00	6,00	44,00	8,52	2,52	29,58
					Média	31,83

Fonte: desenvolvido pelo autor

Observa-se uma redução média na potência de 31,83% com a utilização da base recuperadora de calor para a vazão de ensaio.

Assim determina-se uma redução média de potência no chuveiro de 30,01% com uso da base recuperadora de calor considerando os resultados obtidos para cada vazão.

4.2 Resultados junto aos clientes

Com base nos resultados das medições aplicaram-se as duas metodologias propostas de medição e verificação no qual seguem os resultados.

4.2.1 Opção “A” de medição e verificação

Segundo esta metodologia, apresenta-se os resultados obtidos de consumo de energia [kWh] e a potência máxima do chuveiro elétrico [W]. Estima-se, neste caso, a demanda na ponta e o fator de coincidência na ponta com base nas entrevistas dos clientes.

Primeiramente, fez-se a análise dos tempos de banho informados pelos clientes por faixa de consumo tomando como base as entrevistas realizadas nos clientes selecionados para medição. Na tabela 8 são apresentados os resultados para esta faixa de consumo mensal de 0 a 30 kWh. Neste caso reforça-se, conforme visto na secção 3.4, que não existe situação pós-*retrofit*.

Tabela 8 - Resumo dos banhos para a faixa de consumo de 0 a 30 kWh

Período	Tempo médio de banhos [min/banho]	Nº Médio de banhos/dia	Nº Médio de banhos na ponta	FCP [%]
pré- <i>retrofit</i>	8,33	3,00	2,00	9,26

Fonte: desenvolvido pelo autor

Com base nos resultados da tabela 8 observa-se que o tempo médio que os chuveiros permaneceram ligados durante o horário da ponta é 16,67 minutos.

Ainda observa-se neste segmento uma média de 1,67 adultos por residência. Como uma amostra possuía um indivíduo conclui-se que praticamente neste segmento tem-se no domicílio um casal. Também se verificou a presença média de 1,33 crianças por domicílio.

A mesma análise foi feita para a faixa de consumo de 30 a 100 kWh. Na tabela 9 são apresentados os resultados para esta faixa de consumo.

Tabela 9 - Resumo dos banhos para a faixa de consumo de 30 a 100 kWh

Período	Tempo médio de banhos [min/banho]	Nº Médio de banhos/dia	Nº Médio de banhos na ponta	FCP [%]
pré- <i>retrofit</i>	7,69	3,61	2,28	9,73

Fonte: desenvolvido pelo autor

Com base nesses resultados da tabela 9 observa-se que o tempo médio que os chuveiros permaneceram ligados durante o horário da ponta foi de 17,50 minutos.

Ainda, observa-se neste segmento uma média de 2,51 adultos por residência. Também verificou-se a presença média de 1,16 crianças por domicílio.

Por fim analisou-se a faixa de consumo de 100 a 220 kWh. Na tabela 10 são apresentados os resultados para esta faixa de consumo.

Tabela 10 - Resumo dos banhos para a faixa de consumo de 100 a 220 kWh

Período	Tempo médio de banhos [min/banho]	Nº Médio de banhos/dia	Nº Médio de banhos na ponta	<i>FCP</i> [%]
pré-retrofit	7,96	4,06	2,79	12,31

Fonte: desenvolvido pelo autor

Com base nos resultados da tabela 10 observa-se que o tempo médio que os chuveiros permaneceram ligados durante o horário da ponta foi de 22,16 minutos.

Ainda, observa-se neste segmento uma média de 2,60 adultos por residência e presença média de 1,45 crianças por domicílio.

Tomando como base toda a amostra sem a estratificação por segmento encontram-se os resultados da tabela 11.

Tabela 11 - Resumo dos banhos para toda a amostra

Período	Tempo médio de banhos [min/banho]	Nº Médio de banhos/dia	Nº Médio de banhos na ponta	<i>FCP</i> [%]
pré-retrofit	7,85	3,84	2,55	11,13

Fonte: desenvolvido pelo autor

Observa-se que foi realizado adicionalmente o cálculo do *FCP* individualmente para cada cliente considerando o tempo de banho informado e a quantidade de banhos realizados no horário de ponta. A partir disso calculou-se a média por segmento de consumo conforme é apresentado na tabela 12.

Tabela 12 - Comparativo entre FCP e o FCP médio¹⁰

Faixas de consumo (kWh)	FCP [%](a)	FCP [%] médio (b)	Dif [%] (a)/(b)
de 0 a 30	9,26	7,41	24,97
de 30 a 100	9,73	9,32	4,40
de 100 a 220	12,31	11,90	3,45
Média	10,43	9,54	9,33

Fonte: desenvolvido pelo autor

Uma vez obtido o FCP médio das faixas de 10,43% e com base na equação (7) calcula-se RDP_T para todas as faixas de consumo conforme apresentado na tabela 13.

Tabela 13 - Redução de demanda na ponta total e média (FCP médio das faixas)

Faixas de consumo (kWh)	n	RDP_T [W]	RDP_{med} [W]
de 0 a 30	3	544,44	181,48
de 30 a 100	54	7.160,94	132,61
de 100 a 220	70	9.975,25	142,50
		Média	152,20

Fonte: desenvolvido pelo autor

Ainda, pode-se utilizar o FCP médio por faixa (tabelas 8, 9 e 10) e novamente com base em (7) recalcula-se RDP_T para todas as faixas de consumo. Os resultados são apresentados na tabela 14.

Tabela 14 - Redução de demanda na ponta total e média (FCP médio por faixa)

Faixas de consumo (kWh)	n	RDP_T [W]	RDP_{med} [W]
de 0 a 30	3	386,80	128,93
de 30 a 100	54	6.398,85	118,50
de 100 a 220	70	11.381,16	162,59
		Média	136,67

Fonte: desenvolvido pelo autor

¹⁰ Considera-se FCP médio tomando como base o FCP calculado para cada cliente e retirado a média para a faixa da amostra.

Na tabela 15 pode-se observar a redução de demanda na ponta total considerando as reduções médias de demanda na ponta calculadas (tabela 13) por faixa de consumo extrapolada para toda a população no valor total de $RDP_T = 158,25$ kW.

Tabela 15 - Redução de demanda na ponta total para a população (*FCP* médio das faixas)

Faixas de consumo (kWh)	RDP_{med} [W]	N	RDP_T [W]
de 0 a 30	181,48	8	1.451,86
de 30 a 100	132,61	139	18.432,79
de 100 a 220	142,50	971	138.371,00
	Total	1.118	158.255,64

Fonte: desenvolvido pelo autor

Ainda considerando as reduções médias de demanda na ponta calculadas (tabela 14) por faixa de consumo extrapolada para toda a população encontra-se o valor total de $RDP_T = 175,37$ kW conforme apresentado na tabela 16.

Tabela 16 - Redução de demanda na ponta total para a população (*FCP* médio por faixa)

Faixas de consumo (kWh)	RDP_{med} [W]	N	RDP_T [W]
de 0 a 30	128,934	8	1.031,47
de 30 a 100	118,497	139	16.471,10
de 100 a 220	162,588	971	157.872,95
	Total	1.118	175.375,52

Fonte: desenvolvido pelo autor

Observa-se uma diferença de 9,76% na da demanda na ponta quando se utiliza o valor de RDP_T obtido com o *FPC* médio das faixas e o valor de *FCP* médio por faixa de consumo.

Adicionalmente, aplica-se a metodologia “A” de medição e verificação, tomando como base $RDP_{med}=152,20$ W das faixas (tabela 13) encontra-se uma redução na demanda na ponta, quando se extrapola para toda a população, de $RDP_T = 170,15$ kW. Esse valor quando comparado RDP_T , considerando as médias por faixa (tabela 15), é 7,52% maior.

Considerando o $FCP = 11,13\%$ calculado para toda a amostra com base no tempo médio de banho e a quantidade média de banhos na ponta, tem-se ainda $RDP_{med} = 151,03$ W da população e desvio padrão amostral $s = 87,04$ W. O erro padrão para esta amostra é

$E_p = 2,60$. Desta maneira é possível dizer com 95% de confiabilidade e nível de significância de 5% que o intervalo da redução média da potência esta entre 145,93 W e 156,13 W. Este intervalo quando extrapolado para toda a população resulta em de $RDP_T = 168,85 \text{ kW} \pm 3,38\%$. Observa-se que esse valor absoluto quando comparado à redução na demanda na ponta calculada pela metodologia “A” é 0,76% menor, mas ainda dentro do intervalo de confiança.

A demanda na ponta no período *pré-retrofit* para toda população pode ser extrapolada pela média individual antes das ações de 503,62 W. Dessa forma tem-se que a demanda total na ponta antes das ações é de 563,05 kW assim sendo, a RDP_T corresponde a uma redução de 29,99%.

Referente ao consumo de energia, segundo a metodologia “A” e utilizando-se da equação 5, apresenta-se na tabela 17 a síntese de valores encontrados para a faixa de consumo de 0 a 30 kWh.

Tabela 17 – Consumo total de energia para a faixa de 0 a 30 kWh

pré-retrofit [kWh] (a)	pós-retrofit [kWh] (b)	Economia (a)- (b)	Média diária
5,48	2,83	2,65	0,88

Fonte: desenvolvido pelo autor

Aplica-se a mesma metodologia para a faixa de consumo de 30 a 100 kWh. Obtém-se os dados que estão sintetizados na tabela 18.

Tabela 18 – Consumo total de energia para a faixa de 30 a 100 kWh

pré-retrofit [kWh] (a)	pós-retrofit [kWh] (b)	Economia (a)- (b)	Média diária
28,38	16,63	11,75	0,56

Fonte: desenvolvido pelo autor

Por fim faz-se a mesma análise para a faixa de consumo de 100 a 220 kWh. Obtém-se os dados que estão sintetizados na tabela 19.

Tabela 19 - Redução de total de energia para a faixa de 100 a 220 kWh

pré-retrofit [kWh] (a)	pós-retrofit [kWh] (b)	Economia (a)- (b)	Média diária
110,51	76,50	34,02	0,49

Fonte: desenvolvido pelo autor

Utilizando-se as médias diárias encontradas para cada faixa pode-se extrapolar o consumo para o período de um ano por faixa e assim encontra-se a redução no consumo total da população de 203,20 MWh/ano conforme é apresentado na tabela 20.

Tabela 20 - Economia de energia anual por faixa de consumo

Faixas de consumo (kWh)	Média Diária de economia [kWh]	EE_{med}[MWh/ano]	N	Energia Total [MWh/ano]
de 0 a 30	0,88	0,32	8,00	2,58
de 30 a 100	0,56	0,20	139,00	28,38
de 100 a 220	0,49	0,18	971,00	172,24
		Total	1.118,00	203,20

Fonte: desenvolvido pelo autor

Se for considerado a metodologia “A” utilizando toda a amostra encontra-se os valores sintetizados na tabela 21.

Tabela 21 – Consumo total de energia para a amostra

pré-retrofit [kWh] (a)	pós-retrofit [kWh] (b)	Economia (a)- (b)	Média diária
144,37	95,96	48,42	0,52

Fonte: desenvolvido pelo autor

Utilizando-se a média diária encontrada para a amostra pode-se extrapolar o consumo para o período de um ano e assim encontra-se o consumo total da população de 210,19 MWh/ano conforme é apresentado na tabela 22.

Tabela 22 - Economia de energia anual por faixa de consumo

Faixas de consumo (kWh)	Média Diária [kWh]	EE _{med} [MWh/ano]	N	Energia Total [MWh/ano]
de 0 a 30	0,52	0,19	8,00	1,50
de 30 a 100	0,52	0,19	139,00	26,13
de 100 a 220	0,52	0,19	971,00	182,55
Total			1.118,00	210,19

Fonte: desenvolvido pelo autor

Ainda, tem-se tomando como base a amostra e uma média amostral para a redução do consumo diário de $\bar{y}=0,52$ kWh e um desvio padrão amostral $s=0,85$ kWh. O erro padrão para esta amostra é $E_p = 0,025$. Desta maneira é possível dizer com 95% de confiabilidade e nível de significância de 5% que o intervalo da redução média diária da energia esta entre 0,47 kWh e 0,56 kWh. Este intervalo quando extrapolado para toda a população durante um ano resulta em $EE_T = 210,19$ kWh/ano $\pm 9,66\%$. A energia consumida no período pré-*retrofit* durante o período de um ano para toda população pode ser extrapolada pela média do consumo individual antes das ações de 1,53 kWh/dia. Dessa forma tem-se que a energia total consumida antes das ações é de 626,75 MWh/ano e assim sendo a EE_T corresponde a uma redução de 33,53%.

4.2.2 Opção “B” de medição e verificação

Segundo esta metodologia, apresenta-se os resultados obtidos de consumo de energia [kWh] e a curva de demanda do chuveiro elétrico [W]. Neste caso, obtém-se o fator de coincidência na ponta da curva de demanda.

Primeiramente faz-se a análise dos tempos de banho informados pelos clientes por faixa de consumo tomando como base as curvas de carga adquiridas do equipamento de medição. Na tabela 23 são apresentados os resultados para a faixa de consumo mensal de 0 a 30 kWh. Neste caso reforça-se que uma vez registrado o perfil de consumo do cliente é possível realizar a contabilização da quantidade de banhos na ponta no período pré-*retrofit* e pós-*retrofit*.

Tabela 23 - Resumo dos banhos para a faixa de consumo de 0 a 30 kWh

Período	Tempo médio de banhos [min/banho]	Nº Médio de banhos/dia	Nº Médio de banhos na ponta	FCP [%]
<i>pré-retrofit</i>	9,25	2,67	1,67	7,41
<i>pós-retrofit</i>	8,00	2,67	2,00	7,78
Média	8,63	2,67	1,84	7,60

Fonte: desenvolvido pelo autor

Com base nos resultados da tabela 23 observa-se que o tempo médio que os chuveiros permaneceram ligados durante o horário da ponta é 15,82 minutos.

A mesma análise foi feita para a faixa de consumo mensal de 30 a 100 kWh. Na tabela 24 são apresentados os resultados para esta faixa de consumo.

Tabela 24 - Resumo dos banhos para a faixa de consumo de 30 a 100 kWh

Período	Tempo médio de banhos [min/banho]	Nº Médio de banhos/dia	Nº Médio de banhos na ponta	FCP [%]
<i>pré-retrofit</i>	6,61	3,31	1,54	6,04
<i>pós-retrofit</i>	6,32	2,90	1,27	5,18
Média	6,47	3,11	1,41	5,61

Fonte: desenvolvido pelo autor

Com base nos resultados acima vistos observa-se que o tempo médio que os chuveiros permaneceram ligados durante o horário da ponta é 9,08 minutos.

Por fim analisou-se a faixa de consumo mensal de 100 a 220 kWh. Na tabela 25 são apresentados os resultados para esta faixa de consumo.

Tabela 25 - Resumo dos banhos para a faixa de consumo de 100 a 220 kWh

Período	Tempo médio de banhos [min/banho]	Média banhos/dia	Média banhos/na ponta	FCP [%]
pré-retrofit	6,27	4,39	2,15	7,79
pós-retrofit	7,21	3,90	1,84	8,07
Média	6,74	4,15	2,00	7,93

Fonte: desenvolvido pelo autor

Com base nos resultados acima vistos observa-se que o tempo médio que os chuveiros permaneceram ligados durante o horário da ponta é 13,45 minutos.

Tomando como base toda a amostra sem a estratificação por segmento encontram-se os resultados da tabela 26.

Tabela 26 - Resumo dos banhos para toda amostra

Período	Tempo médio de banhos [min/banho]	Média banhos/dia	Média banhos/na ponta	FCP [%]
pré-retrofit	6,40	4,09	2,00	7,37
pós-retrofit	7,06	3,64	1,72	7,39
Média	6,73	3,86	1,86	7,38

Fonte: desenvolvido pelo autor

Observa-se que foi realizado adicionalmente o cálculo do *FCP* médio por faixa e comparado com *FCP* médio das faixas conforme é apresentado na tabela 27.

Tabela 27 - Comparativo entre *FCP* médio por faixa e o *FCP* médio da amostra

Faixas de consumo (kWh)	FCP [%](a)	FCP [%] médio (b)	Dif[%] (a)/(b)
de 0 a 30	7,60	7,38	2,98
de 30 a 100	5,61	7,38	-23,98
de 100 a 220	7,93	7,38	7,45
Média	7,05	7,38	-4,47

Fonte: desenvolvido pelo autor

Uma vez obtido o FCP médio das faixas da amostra de 7,38% com base na equação (7) calcula-se RDP_T para todas as faixas de consumo conforme apresentado na tabela 28.

Tabela 28 - Redução de demanda na ponta total e média (FCP médio das faixas)

Faixas de consumo (kWh)	n	RDP_T [W]	RDP_{med} [W]
de 0 a 30	3	393,86	131,29
de 30 a 100	54	4.916,34	91,04
de 100 a 220	70	6.648,39	94,98
		Média	105,77

Fonte: desenvolvido pelo autor

Ainda, pode-se utilizar o FCP médio por faixa (tabelas 23,24 e 25) e novamente com base em (7) recalcula-se RDP_T para todas as faixas de consumo e os resultados são apresentados na tabela 29.

Tabela 29 - Redução de demanda na ponta total e média (FCP médio por faixa)

Faixas de consumo (kWh)	n	RDP_T [W]	RDP_{med} [W]
de 0 a 30	3	404,51	134,84
de 30 a 100	54	3.727,12	69,02
de 100 a 220	70	7.124,56	101,78
		Média	101,88

Fonte: desenvolvido pelo autor

Na tabela 30 pode-se observar a redução de demanda na ponta total considerando as reduções médias de demanda na ponta calculadas (tabela 28) por faixa de consumo extrapolada para toda a população no valor total de $RDP_T = 105,92$ kW.

Tabela 30 - Redução de demanda na ponta total para a população (FCP médio das faixas)

Faixas de consumo (kWh)	RDP_{med} [W]	N	RDP_T [W]
de 0 a 30	131,29	8	1.050,30
de 30 a 100	91,04	139	12.655,03
de 100 a 220	94,98	971	92.222,68
		Total	1.118
			105.928,01

Fonte: desenvolvido pelo autor

Ainda, considerando as reduções médias de demanda na ponta calculadas (tabela 29) por faixa de consumo extrapolada para toda a população encontra-se o valor total de $RDP_T = 109,50$ kW conforme apresentado na tabela 31.

Tabela 31 - Redução de demanda na ponta total para a população (FCP médio por faixa)

Faixas de consumo (kWh)	RDP_{med} [W]	N	RDP_T [W]
de 0 a 30	134,84	8	1.078,69
de 30 a 100	69,02	139	9.593,88
de 100 a 220	101,78	971	98.827,81
	Total	1.118	109.500,38

Fonte: desenvolvido pelo autor

Observa-se uma diferença de 3,26% na da demanda na ponta quando se utiliza o valor de RDP_T obtido com o FPC médio das faixas e o valor de FCP médio por faixa de consumo.

Adicionalmente, aplica-se a metodologia “B” de medição e verificação, tomando como base $RDP_{med}=105,77$ W das faixas (tabela 28) encontra-se uma redução na demanda na ponta, quando se extrapola para toda a população, de $RDP_T = 118,25$ kW. Esse valor quando comparado RDP_T , considerando as médias por faixa (tabela 30), é 11,63% maior.

Considerando o $FCP = 7,38\%$ calculado para toda a amostra, tem-se ainda $RDP_{med} = 95,25$ W da população e desvio padrão amostral $s = 60,54$ W. O erro padrão para esta amostra é $E_p = 1,81$. Desta maneira é possível dizer com 95% de confiabilidade e nível de significância de 5% que o intervalo da redução média da potência na ponta está entre 91,70 W e 98,80 W. Este intervalo quando extrapolado para toda a população resulta em de $RDP_T = 106,50$ kW $\pm 3,73\%$. Observa-se que esse valor absoluto quando comparado à redução na demanda na ponta calculada pela metodologia “A” é 9,94% menor e esta fora do intervalo de confiança.

A demanda na ponta no período pré-*retrofit* para toda população pode ser extrapolada pela média individual de 301,60 W antes das ações. Dessa forma tem-se que a demanda total na ponta antes das ações é de 337,19 kW e assim sendo a RDP_T corresponde a uma redução de 31,58%.

Para a energia não é feita apresentação de resultados pela metodologia “B” pois conforme visto na secção 3.5 os resultados são iguais aos apresentados na metodologia “A”.

4.3 Comparativo entre as metodologias opção “A” e “B”

Na tabela 32 apresenta-se um resumo dos resultados obtidos pelas duas metodologias considerando o tempo de banho.

Tabela 32 - Comparativo entre metodologias para o tempo de banho e *FCP*

Faixas de consumo (kWh)	Metodologia "A" [a]			Metodologia "B" [b]			Diferença [%] (a)/(b)
	Tempo médio de banhos [min/banho]	Nº Médio de banhos na ponta	<i>FCP</i> [%] (a)	Tempo médio de banhos [min/banho]	Nº Médio de banhos na ponta	<i>FCP</i> [%] (b)	
de 0 a 30	8,33	2,00	9,26	8,63	1,67	7,60	21,84
de 30 a 100	7,69	2,28	9,73	6,47	1,41	5,61	73,44
de 100 a 220	7,96	2,79	12,31	6,74	2,00	7,93	55,23
Média	7,99	2,36	10,43	7,28	1,69	7,05	48,01

Fonte: desenvolvido pelo autor

Observa-se na média um aumento do *FCP* de 48,01% quando utiliza-se a estimativa das pesquisas realizadas com as informações dos clientes.

Já na tabela 33 pode-se observar o comparativo dos resultados obtidos de demanda comparando as duas metodologias.

Tabela 33 - Comparativo entre metodologias para a demanda conservada na ponta

Faixas de consumo (kWh)	Metodologia "A" [a]			Metodologia "B" [b]			Diferença [%] (a)/(b)
	N	<i>RDP_{med}</i> [W]	<i>RDP_T</i> [W] (a)	N	<i>RDP_{med}</i> [W]	<i>RDP_T</i> [W] (b)	
de 0 a 30	8,00	181,48	1.451,86	8,00	131,29	1.050,30	38,23
de 30 a 100	139,00	132,61	18.432,79	139,00	91,04	12.655,03	45,66
de 100 a 220	971,00	142,50	138.371,00	971,00	94,98	92.222,68	50,04
Média	-	152,20	141,55	-	105,77	94,74	43,89
Total	1.118,00	-	158.255,64	1.118,00	-	105.928,01	49,39

Fonte: desenvolvido pelo autor

Observa-se na média um aumento da RDP_T de 43,89% quando utiliza-se a metodologia “A” para realização da aferição dos resultados do projeto. Na tabela 34 apresenta-se um comparativo retirando a influência da variável FCP e comparam-se apenas as potências médias por faixa (média das potências máxima conforme metodologia “A” e média das potências média conforme metodologia “B”).

Tabela 34 Comparativo entre metodologias para a potência total verificada no pré-retrofit e pós-retrofit

Faixas de consumo (kWh)	Metodologia "A"			Metodologia "B"			Diferença [%] 1-((a)/(b))
	$\Sigma P1$ [W]	$\Sigma P2$ [W]	Redução [W] (a)	$\Sigma P1$ [W]	$\Sigma P2$ [W]	Redução [W] (b)	
de 0 a 30	5.140,00	3.400,00	1.740,00	4.909,03	3.134,87	1.774,16	1,93
de 30 a 100	4.551,43	3.280,00	1.271,43	4.134,12	2.903,80	1.230,32	-3,34
de 100 a 220	4.490,57	3.124,29	1.366,29	4.022,56	2.739,08	1.283,47	-6,45
Total	14.182,00	9.804,29	4.377,71	13.065,71	8.777,76	4.287,95	-2,62

Fonte: desenvolvido pelo autor

Observa-se que uma vez retirado o efeito do FCP sobre a demanda, a diferença absoluta entre as metodologias para aferição da potência esta na ordem de 2,62%.

Tem-se ainda que a redução média da potência na metodologia “A” para a amostra é de 1.357,02 W e desvio padrão amostral $s = 782,06$ W. A precisão relativa é de 11,65%. Desta maneira, é possível dizer com 95% de confiabilidade e nível de significância de 5% que o intervalo da redução média da potência esta entre 1.198,92 W e 1.515,12 W.

Da mesma maneira tem-se que a redução média da potência na metodologia “B” para a amostra é de 1.287,25 W e desvio padrão amostral $s = 818,14$ W. A precisão relativa é de 12,85%. Desta maneira é possível dizer com 95% de confiabilidade e nível de significância de 5% que o intervalo da redução média da potência esta entre 1.121,86 W e 1.452,65 W.

Por fim, podem-se comparar as duas metodologias com base no ganho da ação de eficiência energética conforme apresenta-se na tabela 35.

Tabela 35 - Comparativo entre metodologias para o ganho da ação de Eficiência Energética

Metodologias	N	Demanda média na ponta pré-retrofit [W]	Demanda total na ponta pré-retrofit [W] (a)	Redução na demanda na ponta RDP_T [W] (b)	Ganho (b)/(a) [%]
Metodologia "A"	1.118	503,62	563.047,90	168.858,77	29,99%
Metodologia "B"	1.118	301,61	337.196,82	106.497,41	31,58%

Fonte: desenvolvido pelo autor

5 CONCLUSÕES

A proposta de dissertação de mestrado teve como objetivo principal comparar os resultados obtidos das ações de troca de chuveiro na população beneficiada utilizando a opção “A” definida no trabalho da ICF e a opção “B” definida no PIMVP. Sobre a questão mais relevante ligada ao perfil de utilização do chuveiro associada à base recuperadora de calor e que é traduzida pelo *FCP*, observa-se que a diferença entre as duas metodologias para RDP_T é 49,39%. Este resultado mostra que a estimativa para o *FCP* é fundamental para determinação da redução de demanda na ponta e conclui-se que a metodologia “B” é mais assertiva e mais conservativa quanto à retirada de demanda na ponta.

Ainda, observa-se referenciando a tabela 26 que a ação de eficiência energética não altera o perfil de utilização do chuveiro onde o *FCP* pré-*retrofit* é semelhante ao pós-*retrofit*. Também se observa que a diferença entre o *FCP*, comparando as duas metodologias (tabela 32), é 48,01%. Assim, afirma-se que a diferença entre os resultados obtidos para o *FCP* das duas metodologias traduz-se diretamente no resultado da demanda retirada na ponta.

Outro ponto que se avalia, é que retirado o efeito da esta estimativa da variável *FCP*, quer seja utilizando o valor obtido das pesquisas propostas na metodologia “A” ou pelo valor obtido da análise da curva de carga na opção “B”, a diferença entre as médias das faixas para a redução de potência é de 2,62%, menor que a precisão sugerida de 10% pelo PIMVP. Assim, pode se considerar os resultados das duas metodologias muito próximos e é independente se for utilizada a potência máxima medida (alternativa “A” de medição e verificação) ou a média das potências (opção “B”) para determinar a redução de potência das ações de eficiência energética.

Quando se avalia a questão da energia economizada, como já justificado no trabalho, as duas metodologias convergem para o mesmo resultado, pois utilizam a mesma premissa de medição.

Em continuidade a análise, teve como objetivo avaliar a redução de potência no chuveiro comparando o sistema sem a base recuperadora e com a base recuperadora para diferentes condições de operação (vazão e potência). Neste sentido observa-se que após a avaliação da base recuperadora de calor obteve-se uma redução média de potência no chuveiro para diferentes vazões de 30,01% comparado a utilização do chuveiro sem a base recuperadora. Em particular para a vazão de 3 L/mim, condição de operação dos

sistemas instalados nos cliente, o redução de potência no chuveiro é de 28,75%. Essa redução obtida nos ensaios em ambiente controlado. Quando se avalia os resultados das medições (tabela 35) sob a ótica das duas metodologias diferentes de avaliação dos resultados obtém-se uma redução de potência no chuveiro com a base recuperadora, considerando toda a amostra, de 29,99% para a metodologia “A” de medição e verificação e 31,58% para a opção “B”. É interessante observar que a redução da potência no chuveiro individualizado, no ambiente de teste, é mantida para toda a amostra e conseqüentemente para toda a população. Assim, é evidente que a ação de eficiência energética é assertiva e proporciona a economia prevista do equipamento. Adicionalmente, este resultado mostra que independentemente da maneira com o qual o cliente utiliza o chuveiro, a redução absoluta de potência no chuveiro permanece a proposto para o conjunto (chuveiro mais base recuperadora) e pode ser extrapolada para populações semelhantes.

Dessa maneira, conclui-se de maneira sintética que a redução de potência prevista pela base recuperadora de calor pode ser extrapolada a toda população que recebe esta ação de eficiência energética e é da ordem dos 30%. Ainda, que as estimativas referentes ao *FCP*, que traduzem a utilização do chuveiro, são fundamentais e decisivas para determinar a redução de potência na ponta e neste sentido afirma-se ainda que a ação de eficiência energética não altera o padrão de uso do chuveiro. Por fim, que a metodologia de avaliação com base na opção “B” é mais conservativa e mais assertiva na determinação da redução na potência na ponta.

6 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Conforme apresentado no trabalho de dissertação o consumo total de energia em um domicílio pode ser afetado por mudanças em pelo menos cinco conjuntos de parâmetros os quais se pode citar como mais relevantes: a população (refletida no número de banhos e tempo de banho), condição de uso (refletida em termos da vazão e aumento da potência) e as variáveis climáticas (AGAMI et al.).

No decorrer do trabalho de dissertação verificou-se que a condição de uso não é relevante para determinação da redução de potência. Adicionalmente constatou-se que o perfil de utilização da situação *pré-retrofit* e *pós-retrofit*, traduzido pelo tempo de banho e quantidade de banhos e assim conseqüentemente no *FCP*, permaneceu quase inalterado mostrando que a ação de eficiência energética não provoca mudanças no padrão de utilização do chuveiro por parte do cliente.

Assim sendo, sugere-se como desenvolvimento futuro uma avaliação da influência da temperatura no aumento da potência utilizada pelo chuveiro. Segundo (LAMBERTS et al., 2007) existe diferenças significativas no uso da eletricidade nas zonas bioclimáticas do Brasil sendo mais significativa para o chuveiro e ar condicionado.

Adicionalmente, propõe-se como complementação a este trabalho, o comparativo entre a redução de energia prevista neste trabalho e a aferida pela concessionária, por meio da medição destinada ao faturamento, para o período de pelo menos um ano, ou seja, um ciclo completo, posterior à implementação da ação de eficiência energética. Com isso será possível verificar se os resultados obtidos para amostra e extrapolados para a população são condizentes e refletem a situação que será medida pela distribuidora de energia elétrica.

7 REFERÊNCIAS

- ABNT - NBR 12089. (1991). Normas Técnicas NBR 12089. *Chuveiros elétricos - Determinação do consumo de energia elétrica - Método de ensaio*. ABNT.
- ABNT. (1 de outubro de 1989). Normas Técnicas NBR5426. *Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos*. ABNT.
- AGAMI et al., T. (n.d.). Baselineing Methodology for Facility - Level Monthly Energy Use - Part 1: Theoretical Aspects. *Ashrae*.
- AGAMI et al., T. (n.d.). Baselineing Methodology for Facility - Level Monthly Energy Use - Part 2: Application to Eight Army Installations. *Ashrae*.
- ANEEL. (2008). *Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética*. Brasília: SPE – Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética.
- ANEEL. (2012). *Informações gerenciais*. Brasília: Superintendência de P&D e Eficiência Energética - SPE.
- ASHRAE. (2005). Energy estimating and modeling methods. In: *Handbook: Fundamentals* (p. Cap. 32.1).
- BECK, J., & ARNOLD, K. (1977). *Parameter Estimation in Engineering and Science*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- BEVINGTON, P., & ROBINSON, D. (1992). *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences*. New York: McGraw-Hill.
- BRUNO. (NOVEMBRO de 2008). Estudo de um recuperador de calor para chuveiro.
- CENGEL, Y. (2013, 7ª). Thermodynamics.
- COTRIM, A. A. (2003, 4ª edição). *Instalações elétricas*. Prentice Hall.
- COWAN, J., & SCHILLER, S. (1997). Measuring Energy Savings for Modernization Projects. *ASHRAE Journal* 61(8), 60-62.
- ELETROBRAS/PROCEL. (2005). *Pesquisa de posse e hábito*. Rio de Janeiro: PROCEL.
- ELETROBRAS/PROCEL. (2006). *Avaliação das instalações de aquecimento solar no Brasil*. Rio de Janeiro: PROCEL.
- ELETROBRAS/PROCEL. (2011). *Relatório de resultados do Procel 2012*. Rio de Janeiro: PROCEL.
- ELETROBRAS/PROCEL. (2011). *Sumário executivo 2012*. Rio de Janeiro: PROCEL.
- ELETROBRAS/PROCEL. (s.d.). *Guia de medição e verificação*. Rio de Janeiro: PROCEL.

- ESLAMI, P., & BERNIER, M. (27 de July de 2009). Impact of grey water heat recovery on the electrical demand of domestic hot water heaters.
- EVO. (2007). *International Performance Monitoring and Verification Protocol*. San Francisco: EVO.
- FREIRE, I. F. (2001). Medição e verificação em eficiência energética: metodologia para determinação do baseline. *Dissertação de Pós-Graduação - Universidade de Santa Catarina*. Florianópolis, Sc.
- GEEN-PUC. (2000). *Recuperadores de calor para chuveiros elétricos*.
- GELLER, H., & JANNUZZI, G. D. (1998). The efficient use of electricity in Brazil: progress and opportunities. *Energy Policy Vol.26*, 859-872.
- GOLDEMBERG, J., & LUCON, O. (2007). Energia e meio ambiente no Brasil. *Estudos Avançados*, 7-20.
- HEINEMEIER, K. E., & AKBARI, H. (1996). Monitoring Savings in Energy Savings Performance Contracts Using Energy Management and Control Systems. *ASHRAE Transactions 102(2)*, 562-575.
- <http://why.knovel.com/>. (s.d.). Acesso em 07 de 12 de 2012, disponível em Knovel: http://www.knovel.com/web/portal/basic_search/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=2554
- <http://www.evo-world.org>. (s.d.). Acesso em 11 de 12 de 2012, disponível em EVO: http://www.evo-world.org/index.php?option=com_content&view=article&id=40&Itemid=63&lang=pt
- ICF. (2011). *Estabelecimento de requisitos mínimos de medição e verificação de resultados que possam ser aplicados aos projetos de eficiência energética desenvolvidos*. Rio de Janeiro: ICF International.
- INEE. (2001). *Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance*. Rio de Janeiro: INEE.
- JANNUZZI, D. G. (2002). *Aumentando a eficiência nos usos finais de energia no Brasil*. São Paulo.
- JANNUZZI, G. D. (2000). Energy efficiency and restructuring of the Brazilian power sector. *Energy for Sustainable Development vol. IV no.2*, 17-22.
- JANNUZZI, G. D., & MADUREIRA, R. G. (1996). *Análise Econômica da Introdução de Pré-Aquecedores Solares nas Habitações Brasileiras*. Rio de Janeiro: COPPE.

- LAMBERTS et al., R. (2007). Electricity end uses in the residential sector of Brazil. *Energy Policy* vol.35, 4107-4120.
- LAPPONI, J. C. (2005). *Estatística usando o Excel*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- LARSEN, R. (2008, 3rd Edition). *Engineering with Excel*. Source.
- Lei 12212. (20 de Janeiro de 2010). *Dispões sobre a tarifa social de energia elétrica*. Brasília: Presidência da República.
- MANDEL, J. (1984). *The Statistical Analysis of Experimental Data*. Dover Books on Engineering.
- MELO, J. P. (Abril de 2003). Comparando alternativas para uso do gás canalizado: centrais térmicas ou aquecedores de água. *Dissertação de Pós-Graduação - Universidade Federal de Itajubá*. Itajubá, Mg.
- Model Energy Efficiency Program Impact Evaluation Guide*. (Novembro de 2007). Acesso em 07 de 12 de 2012, disponível em United States Environmental Protection Agency: http://www.epa.gov/cleanenergy/documents/suca/evaluation_guide.pdf
- MME. (2011). *Plano Nacional de Eficiência Energetica*. Brasília: Ministerio de Minas e Energia.
- NOGUEIRA, L. A. (2007). Uso racional: a fonte energética oculta. *Estudos Avançados*, 91-95.
- PRADO, R. T., & GONÇALVES, O. M. (1998). Water heating though eletric shower and energy demand. *Energy and Buildings* vol.29, 77-82.
- PROSKIW, G. (29 de 07 de 2013). <http://www.gfxtechnology.com/>. Fonte: <http://www.gfxstar.ca/ProskiwNRCan.pdf>
- REN. 414. (9 de Setembro de 2010). *Estabelece condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada*. Brasília: ANEEL.
- SHCIPPER, L., & JANNUZZI, G. D. (1991). The structure of eletricity demand en the Brazilian household sector. *Energy Policy*, 879-891.
- U.S. Department of Energy. (2007). *Model Energy Efficiency Program Impact Evaluation Guide*.

8 APÊNDICE

8.1 APÊNDICE A: SELEÇÃO DAS AMOSTRAS

Foram realizadas ações de eficiência energética em 1.118 clientes. Com base no consumo foram estratificados em três faixas. As quantidades de amostras necessárias para cada faixa foram definidas na tabela 3.

Na tabela 36 é apresentada a identificação das 3 unidades consumidoras selecionadas para medição na faixa de consumo mensal de 0 a 30 kWh. Referencia para o anexo

Tabela 36 – Número das unidades consumidoras selecionadas – 0 a 30 kWh

2153349	2146503	5616739
---------	---------	---------

Fonte: desenvolvido pelo autor

Para a população de 0 a 30 kWh que compreende 8 indivíduos foram obtidos uma média amostral $\bar{y}=29,72$ kWh e um desvio padrão amostral $s=0,79$ kWh.

Já na tabela 37 é apresentada a identificação das 54 unidades consumidoras selecionadas para medição na faixa de consumo mensal de 30 a 100 kWh.

Tabela 37 - Número das unidades consumidoras selecionadas – 30 a 100 kWh

2123732	5112616	2627631	2154032	2424569	2123989
2136407	2119926	5115663	2123975	2148177	2148184
5457469	2149779	2633078	2118899	5168634	2153689
3307740	2154414	2154137	2154196	5011795	2150973
2147011	5166614	2305655	2154279	2154407	2118589
2147423	3335473	2151612	2152181	5488607	2910035
5470310	5190554	5013140	3308516	2989673	5199506
2153790	5219876	2121718	5570641	5563688	5615743
5540861	5282378	5082839	5126255	2153945	2146978

Fonte: desenvolvido pelo autor

Para a população de 30 a 100 kWh que compreende 139 indivíduos foram obtidos uma média amostral $\bar{y}=76,11$ e um desvio padrão amostral $s=17,81$.

Por fim na tabela 38 é apresentada a identificação das 70 unidades consumidoras selecionadas para medição na faixa de consumo mensal de 100 a 220 kWh.

Tabela 38 - Número das unidades consumidoras selecionadas – 100 a 220 kWh

2576179	5352548	3351457	2157493	3308629	3333879	5118942
2118295	5048824	5159880	2147913	2123257	5084466	2147867
3296247	5028265	5025009	2711288	2858536	2148188	2149736
5170985	2123683	2839305	5310623	2124027	5297573	5365528
2917454	2118973	5155783	2120473	5195499	2909718	5060976
3307869	2372195	3274319	2697374	2153203	5452129	5258397
5402083	2148123	2154406	5068324	2120029	2153965	5012201
5411628	3204343	2650228	2150176	2772812	2808269	2693069
2149669	2150516	2148453	2952043	2118900	2149832	2624146
2835090	2148373	2698761	2148217	2148526	3307899	2150061

Fonte: desenvolvido pelo autor

Para a população de 100 a 220 kWh que compreende 971 indivíduos foram obtidos uma média amostral $\bar{y}=147,37$ e um desvio padrão amostral $s=31,40$.

8.2 APÊNDICE B: CADASTRO DE CONSUMIDORES

 <p>PEE PROGRAMA DE Eficiência Energética ANEEL</p>	<p>CADASTRO DE CONSUMIDORES VOLUNTÁRIO PARA PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE SUBSTITUIÇÃO DE CHUVEIROS E MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO</p> <p>Associado ao Termo: _____ UC: _____</p>	 <p>RGE REGULADOR DE ENERGIA ELÉTRICA</p>
---	---	---

Autorizo aos funcionários da RGE ou contratados pela mesma devidamente identificados a proceder levantamento de equipamentos para o Programa de Eficiência Energética da RGE/ANEEL nas instalações de energia elétrica sob minha responsabilidade, autorizando, para tanto, entrar em minha propriedade acompanhados da minha pessoa, informando os locais onde estão instalados os equipamentos, qualificando o funcionamento e permitindo registro fotográfico. Tal autorização refere-se a todas as etapas do programa, ou seja, para fase de levantamentos, substituição de equipamentos caso seja beneficiada conforme critérios da RGE/ANEEL e medições pré e pós benefício. Declaro que todas as informações dadas são verdadeiras e as mesmas podem ser usadas

Consumidor/Responsável pelo domicílio: () o(a) mesmo(a)

Nome: _____ CPF: _____

Assinatura: _____ Data: ____/____/2013 Hora: ____:____



Polgar Direito

Chuveiro Encontrado:

- Preenchimento OS - ()

Medição Pré-Retrofit:

Nº do Medidor: _____

Instalação: ____/____/2013 Hora: ____:____ Fotos: _____

Arquivo Página Fiscal Antes (PFMCA): _____

Arquivos Antes da Troca (AAMCA): _____, _____ e _____

- Preenchimento OS - ()

- Preenchimento Termo - ()

Troca do Chuveiro: ____/____/2013 Hora: ____:____

Arquivo Página Fiscal Depois (PFMCD): _____

Previsão Retirada de Medição: ____/____/2013 Hora: ____:____

Arquivos Depois (AAMCD): _____, _____ e _____

Data de Retirada do Medidor: ____/____/2013 Hora: ____:____ Fotos: _____

Obs: _____

Resp. Execução: _____ Cadastro: Cruz Alta, RS ____/____/2013 Hora: ____:____
SEC Engenharia

8.3 APÊNDICE C: CONTRATO



8403/2012

Instrumento particular de doação de Kit Recuperador de Calor (chuveiro eficiente).

Nome: _____ Estado Civil: _____
 Endereço: RUA DIARIO SERRANO Nº 55 Compl.: APT0407
 Bairro: NUCLEO HAB. SANTA BARBARA Cidade: CRUZ ALTA Estado: RS
 Cédula de Identidade: _____ CPF: _____
 Fone para contato/recado: 55-9652-1646 -

O Consumidor responsável pela UC: 2156910, abaixo assinado, doravante designado DONATÁRIO e, de outro lado, COMPANHIA RIO GRANDENSE DE ENERGIA, na forma de seu Estatuto Social doravante designada "RGE", com sede na cidade de Caxias do Sul, na Rua Mario de Boni 1902, Caxias do Sul, CNPJ/ME n. 02.016.439/0001-38 e Inscrição Estadual 029.048.744.7. Considerando que a RGE se comprometeu junto a Ansel - Agência Nacional de Energia Elétrica, por meio de seu Programa de Eficiência Energética, a promover a substituição de chuveiros de unidades consumidoras localizadas em áreas cujas ligações elétricas estejam regularizadas, por Kit de Sistema Recuperador de Calor para banho com reciclagem de energia térmica, reduzindo o consumo de energia elétrica, sem reduzir as condições de conforto do usuário.

Cláusula Primeira - do Objeto

1.1. O objeto do presente contrato é a doação/instalação do bem descrito acima, pela RGE ao DONATÁRIO, transferindo-lhe a posse, uso, bem como os direitos e deveres relativos à sua titularidade.
 1.2. A instalação do KIT, será a título GRATUITO para o DONATÁRIO, cabendo a RGE responsabilizar-se exclusivamente por todos os custos dessa instalação.

Cláusula Segunda - Da Instalação

2.1. Para que a instalação do KIT seja efetivada, o DONATÁRIO deverá ter em sua residência as seguintes condições técnicas: a) existência de chuveiro elétrico na residência; b) abastecimento de água regular; c) estar adimplente com as faturas de energia da RGE.
 2.2. O DONATÁRIO se compromete a entregar a RGE o seu chuveiro usado, para que a mesma possa encaminhá-lo para reciclagem.
 2.3. O DONATÁRIO declara que dará livre acesso aos representantes da RGE no local de sua residência em que o KIT será instalado, durante o tempo de duração deste contrato, para a realização de sua instalação, inspeções elétricas e hidráulicas, e para outros serviços necessários à manutenção do KIT.

Cláusula Terceira - Da Responsabilidade pela Instalação.

3.1. O DONATÁRIO responsabiliza-se integralmente pela estrutura de sua residência e pelas declarações prestadas. A RGE não se responsabiliza por indenizações em caso de abalo e/ou dano na estrutura de sua residência, uma vez que o sistema instalado não causa esse tipo de ocorrência.

Cláusula Quarta - Da utilização dos KITS, da condição para doação do KIT e da garantia.

4.1. O KIT instalado no domicílio do DONATÁRIO será de sua propriedade após os 3 (três) anos iniciais, contados da assinatura do presente Contrato, sob a condição de que neste período sejam vedados ao DONATÁRIO a sua venda, cessão, troca ou doação, sob pena de pagamento de multa no valor correspondente de R\$ 400,00 (Quatrocentos reais) a ser corrigido anualmente pela variação acumulada do IGP-M, ou outro índice que vier a substituí-lo.
 4.2. Após a realização da instalação, o DONATÁRIO terá um prazo de garantia pela REWATT de 02 (dois) anos para o Recuperador de Calor e 01 (um) ano para chuveiro e pressurizador (onde houver), e 03 (três) meses para a resistência elétrica exceto em caso de prejuízos resultantes de atos de vandalismo ou uso inadequado do KIT. Após o término do prazo de garantia, o DONATÁRIO será responsável por todas as despesas de manutenção do KIT, bem como a RGE se compromete a indicar uma empresa especializada para a manutenção dos KITS, sendo certo que esta indicação não cria nenhuma responsabilidade para a RGE e não obriga o DONATÁRIO a contratar a referida empresa.

Cláusula Quinta - Da rescisão.

5.1. O presente contrato poderá ser rescindido a qualquer tempo, por meio de acordo, por escrito, entre as PARTES.
 5.2. O presente contrato poderá ser rescindido de imediato por qualquer das PARTES, independente de notificação ou intimação judicial, em caso de: a) não cumprimento total ou parcial de qualquer condição ora acordada; b) o Objeto do contrato tornar-se proibido; ou c) as PARTES ficarem impossibilitadas de cumprir suas obrigações por motivo de força maior ou caso fortuito.
 5.3. Em caso de rescisão do contrato sem justificativa pelo DONATÁRIO, este será obrigado a pagar a CPFL, a título de indenização, o valor de R\$ 400,00 (Quatrocentos reais) a ser corrigido anualmente pela variação do IGP-M, ou outro índice que vier a substituí-lo, correspondendo ao valor da instalação do KIT.

Cláusula Sexta - Das disposições finais.

6.1. As condições acordadas neste Contrato prevalecerão sobre quaisquer outras mantidas anteriormente entre as PARTES.
 6.2. O DONATÁRIO tem ciência de que, nas hipóteses de alteração de residência ou abandono da mesma, durante o período de 3 (três) anos de que tratado o item 4.1, o KIT só poderá ser transferido quando o novo proprietário não concordar em manter o KIT e o DONATÁRIO pagar pela transferência do KIT. A RGE deve ser comunicada dentro do prazo máximo de 15 (quinze) dias, anteriores a alteração da residência.

Cláusula Sétima - Do Foro.

7.1. As PARTES elegem o Foro da Comarca da cidade de Caxias do Sul para dirimir as dúvidas e questões que se originarem neste contrato, renunciando, neste ato, qualquer outro por mais privilegiado que seja.
 E, por serem justos e contratados, assinam as PARTES o presente Contrato de Doação em 02 (duas) vias de igual teor para um só efeito.

CRUZ ALTA, _____ de _____ de 2012.

Pela RGE:

Nome: Luiz Carlos Lopes Jr
 Cargo: Gerente
 Gerência de Eficiência Energética

Pelo DONATÁRIO:

 Assinatura

Nome:

RG: