

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DAELT – DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

**FERNANDO BAUER NETO**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO AQUECIMENTO DOMÉSTICO DE  
ÁGUA PARA BANHO:  
Estudo comparativo entre o aquecimento de água através de  
elemento resistivo e indução eletromagnética**

**MONOGRAFIA**

**CURITIBA  
2013**

**FERNANDO BAUER NETO**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO AQUECIMENTO DOMÉSTICO DE  
ÁGUA PARA BANHO:**

**Estudo comparativo entre o aquecimento de água através de  
elemento resistivo e indução eletromagnética**

Trabalho de Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Eficiência Energética, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – DAELT, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Walter D. C. Sanchez

**CURITIBA**

**2013**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Departamento de Pós-Graduação  
Especialização em Eficiência Energética



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO AQUECIMENTO DOMÉSTICO DE ÁGUA PARA BANHO: Estudo comparativo entre o aquecimento de água através de elemento resistivo e indução eletromagnética**

por

**FERNANDO BAUER NETO**

Esta Monografia foi apresentado(a) em 20 de setembro de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Eficiência Energética. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Luiz Amilton Peplow, M.Sc.  
Coordenador do curso  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

---

Prof. Dr. Walter D. Cruz Sanchez  
Prof.(a) Orientador(a)

---

Prof. Luiz Amilton Peplow, M.Sc.  
Membro titular

---

Prof<sup>a</sup>. Lilian Moreira Garcia, M.Sc  
Membro titular

---

Eng. Valério José Novak, M.Sc  
Membro

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

À minha noiva Grazieli, ao nosso filho Arthur que ainda está nos primeiros dias de vida na barriga da mãe e aos meus pais, Alceu e Marli, com muito amor, carinho e admiração pela força, compreensão, presença e incansável apoio que me deram, e dão, não só na realização deste trabalho, como em todos os momentos da vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Alceu e Marli, e aos meus irmãos Suelen, Thiago e Nicole, pelo amor e amizade e por terem sempre me compreendido.

A Grazieli, pelo amor, apoio e pela felicidade que proporciona em minha vida.

Ao professor e orientador Dr. Walter Sanchez, pela confiança e generosidade em dividir o conhecimento.

Aos colegas e amigos da COPEL, pela amizade e incentivo em todos os dias de trabalho.

Aos professores e funcionários do Programa de Especialização em Eficiência Energética da UTFPR.

Aos membros da banca examinadora.

Aos colegas de turma.

A todos aqueles que, de alguma forma contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional.

E, acima de tudo, a Deus.

## RESUMO

BAUER NETO, Fernando. **Eficiência Energética no Aquecimento Doméstico de Água para Banho**: Estudo comparativo entre o aquecimento de água através de elemento resistivo e indução eletromagnética. 2013. 76 páginas. Especialização em Eficiência Energética - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

A incessante busca pela eficiência energética nos usos finais da energia faz com que se tornem necessários a melhoria de sistemas existentes e o desenvolvimento de novas técnicas ou aplicações que possam ser benéficos na busca pela sustentabilidade. Nesse contexto, esse trabalho propõe avaliar, em termos de eficiência energética, o aquecimento doméstico de água para banho, comparando resultados obtidos através do uso do aquecimento de água por indução eletromagnética e do aquecimento proporcionado por um elemento resistivo.

**Palavras-chave:** Indução. Aquecimento. Eficiência. Energética. Resistivo.

## ABSTRACT

BAUER NETO, Fernando. **Energy Efficiency in Heating Water for Showers:** A comparative study of water heating through resistive element and electromagnetic induction. 2013. 76 pages. Energy Efficiency Specialization - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

The incessant pursuit of energy efficiency in the final uses of energy makes it necessary to improve existing systems and develop new techniques or applications that can bring sustainable benefits. In this context, this study proposes to evaluate the efficiency of heating household water used in showers by comparing results of the heating provided by an electromagnetic induction equipment and the heating provided by a resistive element.

**Keywords:** Induction. Heating. Efficiency. Energy. Resistive.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Lei de Faraday .....  | 24 |
| Figura 2 - Correntes de Foucault.....  | 24 |
| Figura 3 - Profundidade de Penetração .....  | 25 |
| Figura 4 - Chuveiro Eletrônico: variação de Potência na Carga.....                 | 29 |
| Figura 5 – Fluxograma Avaliação 1 .....  | 39 |
| Figura 6 – Fluxograma Avaliação 2.....   | 40 |
|  |    |
| Fotografia 1 - Aquecimento indutivo na indústria .....                             | 22 |
| Fotografia 2 - Aquecimento indutivo na cozinha.....                                | 22 |
| Fotografia 3- Serpentina no dispositivo de aquecimento resistivo.....              | 31 |
| Fotografia 4 - Analisador de Energia .....   | 32 |
| Fotografia 5 - Chuveiro, com haste que aciona o controle eletrônico.....           | 32 |
| Fotografia 6 - Ligação dos equipamentos de Medição.....                            | 33 |
| Fotografia 7 - Analisador de Energia .....   | 33 |
| Fotografia 8 - Fogão de Mesa de Indução, utilizado no experimento .....            | 34 |
| Fotografia 9 - Visão da espira indutiva do fogão .....                             | 34 |
| Fotografia 10 - Serpentina acoplada ao dispositivo de aquecimento por indução .... | 35 |
| Fotografia 11 - Controles de Potência do sistema de aquecimento por indução.....   | 35 |
| Fotografia 12 - Medição da temperatura da água com termômetro infravermelho....    | 35 |
| Fotografia 13 - Equipamento Analisador de Energia.....                             | 36 |
| Fotografia 14 - Alicates de Corrente conectado ao sistema de indução .....         | 36 |
|  |    |
| Gráfico 1- Projeção estadual: consumo de chuveiros elétricos por domicílio (2030)  | 18 |
| Gráfico 2 - Potência aplicada à carga, para cada nível .....                       | 41 |
| Gráfico 3 - Demanda de Potência – Sistema de Indução.....                          | 43 |
| Gráfico 4 - Demanda de Potência – Sistema Resistivo 1 .....                        | 43 |
| Gráfico 5 - Demanda de Potência – Sistema Resistivo 2 .....                        | 45 |
| Gráfico 6 - Comparativo de Demanda (Indutivo x Resistivo – sistema 1) .....        | 50 |
| Gráfico 7 - Delta de Temperatura (Indutivo x Resistivo – sistema 1) .....          | 50 |
| Gráfico 8 - Comparativo de Demanda, para vazão de 1l/min.....                      | 53 |
| Gráfico 9 - Comparativo de Consumo, para vazão de 1l/min .....                     | 53 |
| Gráfico 10 - Comparativo de Demanda, para vazão de 3l/min.....                     | 55 |
| Gráfico 11 - Comparativo de Consumo, para vazão de 3l/min .....                    | 55 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Profundidade de Penetração.....                                  | 26 |
| Tabela 2 – Resumo dos Ensaios.....  | 37 |
| Tabela 3 - Trecho do arquivo de medição do Sistema Indutivo.....            | 42 |
| Tabela 4 - Trecho do arquivo de medição do Sistema Resistivo 1.....         | 44 |
| Tabela 5 - Trecho do arquivo de medição do Sistema Resistivo 2.....         | 45 |
| Tabela 6 - Ensaio 1: Resultados Obtidos .....                               | 46 |
| Tabela 7 - Ensaio 2: Resultados Obtidos: Potência 1 .....                   | 47 |
| Tabela 8 - Ensaio 2: Resultados Obtidos: Potência 2 .....                   | 47 |
| Tabela 9 - Ensaio 2: Resultados Obtidos: Potência 3 .....                   | 47 |
| Tabela 10 - Ensaio 2: Resultados Obtidos: Potência 4 .....                  | 48 |
| Tabela 11 - Ensaio 2: Resultados Obtidos: Potência 5 .....                  | 48 |
| Tabela 12 - Ensaio 2: Resultados Obtidos: Potência 6 .....                  | 48 |
| Tabela 13 - Resultados Obtidos: Resumo da Ensaio 1 .....                    | 49 |
| Tabela 14 - Resultados Obtidos: Resumo do Ensaio 2.....                     | 51 |
| Tabela 15 – Medições de demanda e consumo de energia (vazão = 1l/min) ..... | 52 |
| Tabela 16 – Medições de demanda e consumo de energia (vazão = 3l/min) ..... | 54 |

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                             | <b>11</b> |
| 1.1      | DELIMITAÇÃO .....                                   | 11        |
| 1.2      | OBJETIVO GERAL.....                                 | 11        |
| 1.3      | OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                          | 12        |
| 1.4      | METODOLOGIA .....                                   | 12        |
| 1.5      | ESTRUTURA DO TRABALHO .....                         | 12        |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO LITERÁRIA.....</b>                       | <b>14</b> |
| 2.1      | HISTÓRICO DO CHUVEIRO.....                          | 14        |
| 2.2      | CONSUMO DE ENERGIA.....                             | 16        |
| 2.3      | ALTERNATIVAS PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA .....         | 17        |
| 2.4      | AQUECIMENTO DE ÁGUA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....   | 18        |
| 2.5      | HISTÓRICO DO AQUECIMENTO INDUTIVO.....              | 20        |
| 2.6      | CARACTERÍSTICAS DO AQUECIMENTO INDUTIVO .....       | 21        |
| 2.7      | USOS DO AQUECIMENTO POR INDUÇÃO .....               | 21        |
| 2.8      | PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO - INDUÇÃO.....          | 23        |
| 2.8.1    | Princípios Físicos.....                             | 23        |
| 2.8.2    | Profundidade de Penetração .....                    | 25        |
| 2.9      | CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....               | 27        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA.....</b>                             | <b>28</b> |
| 3.1      | PROPOSTA.....                                       | 28        |
| 3.1.1    | Sistemas de Aquecimento com Elemento Resistivo..... | 28        |
| 3.1.2    | Sistema de Aquecimento com Elemento Indutivo.....   | 30        |
| 3.2      | BANCADA DE TESTES.....                              | 30        |
| 3.2.1    | Bancada de Testes do Aquecimento Resistivo.....     | 31        |
| 3.2.2    | Bancada de Testes do Aquecimento Indutivo.....      | 33        |
| 3.3      | CONSIDERAÇÕES GERAIS.....                           | 36        |
| 3.4      | GRANDEZAS MONITORADAS.....                          | 37        |
| 3.5      | CARACTERÍSTICAS DOS ENSAIOS.....                    | 37        |
| 3.6      | PROCEDIMENTO DE ENSAIO .....                        | 37        |
| 3.6.1    | Avaliação 1 .....                                   | 38        |
| 3.6.2    | Avaliação 2 .....                                   | 39        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS .....</b>                             | <b>41</b> |
| 4.1      | RESULTADOS OBTIDOS .....                            | 41        |
| 4.1.1    | Aquecimento Indutivo: Resultados .....              | 41        |
| 4.1.2    | Aquecimento Resistivo: Resultados .....             | 43        |
| 4.2      | DADOS OBTIDOS.....                                  | 46        |
| 4.2.1    | Ensaio 1.....                                       | 46        |
| 4.2.2    | Ensaio 2.....                                       | 46        |
| 4.3      | COMPARATIVO DOS RESULTADOS .....                    | 49        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.3.1    | TEMPERATURA E DEMANDA DE POTÊNCIA – ENSAIO 1 .....              | 49        |
| 4.3.2    | CONSUMO DE ENERGIA E DEMANDA DE POTÊNCIA – ENSAIO 2 .....       | 50        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÕES .....</b>   | <b>56</b> |
| 5.1      | CONCLUSÕES GERAIS .....   | 56        |
| 5.2      | SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS .....                             | 57        |
| <b>6</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                         | <b>58</b> |
|          | ANEXO I – Analisador de Energia IMS PowerNet P600 .....         | 62        |
|          | ANEXO II – Certificados de Calibração - IMS PowerNet P600 ..... | 67        |
|          | ANEXO III –Termômetro Digital Infravermelho.....                | 70        |
|          | ANEXO IV –Chuveiro com Controle Eletrônico ThermoSystem.....    | 72        |
|          | ANEXO V – Fogão de Mesa de Indução.....                         | 74        |

## 1 INTRODUÇÃO

O tema sustentabilidade tem se tornado, a cada dia, mais importante e mais necessário para que, com o uso racional dos recursos disponíveis na natureza, as gerações futuras não sejam prejudicadas. Dentro desse contexto, a crescente necessidade no uso da energia elétrica e no uso da água tem estimulado a busca por melhores alternativas para aproveitamento desses recursos naturais.

Um setor que desde a sua invenção não apresentou muitos avanços tecnológicos foi o de chuveiros domésticos. O mais usual e largamente utilizado nas residências brasileiras é o chuveiro elétrico, onde a água é aquecida pela dissipação de potência por uma resistência elétrica.

Outra forma de aquecimento que não é encontrada comercialmente para fins domésticos de aquecimento de água para banho é o aquecimento por indução eletromagnética, que é conhecido e usado em larga escala na indústria, para aquecimento de metais, e nas cozinhas, principalmente dos países desenvolvidos, para cozimento de alimentos.

### 1.1 DELIMITAÇÃO

Dentre as formas usuais para aquecimento doméstico de água para banho, o aquecimento por indução magnética ainda não foi explorado comercialmente, e é objeto desse estudo.

### 1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é avaliar o uso doméstico do aquecimento de água por indução eletromagnética, e compará-lo, em termos de eficiência energética, com o aquecimento por elemento resistivo.

### 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar conceitos sobre o aquecimento de água com tecnologia de indução eletromagnética, num sistema aquecimento de passagem;
- Realizar medições de demanda e consumo nos sistemas indutivo e resistivo, realizar comparações e avaliar a eficiência energética entre os dois sistemas.

### 1.4 METODOLOGIA

Para o estudo, serão elaboradas bancadas com objetivo de avaliar, comparativamente, as duas tecnologias. O estudo faz uma análise calorimétrica, avaliando basicamente os resultados obtidos de variação de temperatura e demanda de potência.

Essa análise visa observar o nível de aquecimento e o consumo de energia, de forma que seja possível identificar qual das tecnologias é mais eficiente energeticamente.

### 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo deste trabalho apresenta uma breve introdução sobre a busca pela sustentabilidade e por equipamentos mais eficientes energeticamente, especialmente na área de aquecimento de água para banho, através da utilização de técnicas conhecidas mas não aplicadas para esse fim; além das justificativas e dos objetivos do estudo.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica, introduzindo conceitos, históricos e princípios de funcionamento dos sistemas propostos.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia a ser seguida, apresentando a proposta e os procedimentos que serão adotados. Neste capítulo são também apresentadas as bancadas de testes, mostrando os equipamentos, a configuração dos equipamentos e os parâmetros avaliados.

No quarto capítulo são apresentados os resultados referentes ao experimento, bem como os ajustes necessários e o comparativo entre as duas tecnologias.

No último capítulo são expostas as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O aquecimento da água é uma necessidade em muitos ramos da indústria, entre elas as de laticínios, químicas e alimentícias e, também é um importante item de conforto nas residências (MARQUES, 2006).

O conforto que o aquecimento de água proporciona, além de necessário em dias e locais mais frios, é um item de elevada importância para a sociedade. A utilização de água quente incentivou o hábito do banho, que foi incorporado aos costumes da sociedade moderna devido à necessidade de higiene corporal e de prevenção de doenças.

Diversos sistemas são utilizados para promover o aquecimento de água, tais como: aquecedores de acumulação elétricos e a gás, aquecedores de passagem elétricos e a gás, aquecedores solares e caldeiras (óleo, gás, madeira e carvão), indução magnética, entre outros (KLAUS, 2005).

O chuveiro elétrico, que se enquadra num tipo de aquecimento instantâneo de água, caracteriza-se por diversos fatores, tais como: baixo preço de aquisição, simplicidade na operação, manutenção e instalação, além da forma de energia utilizada, que é a energia elétrica e está disponível em praticamente todo o território nacional.

Para o sistema de aquecimento indutivo, até o momento, um dos poucos registros encontrados mas não disponíveis comercialmente, é a proposta por Antônio Marcelino dos Santos, cuja patente é a de número MU7502547-7, sob o título “Sistema de aquecimento de água por indução eletromagnética” (SANTOS, 1995).

### 2.1 HISTÓRICO DO CHUVEIRO

Segundo DE MARCHI (ZOELLNER, 2005), “o chuveiro elétrico é um produto genuinamente brasileiro, concebido no início do século XX, que visava contornar deficiências específicas das instalações prediais do nosso país”. A gênese do chuveiro deve-se ao tipo de matriz energética no Brasil: a eletricidade proveniente,

principalmente de hidrelétricas e ao custo elevado das demais alternativas de se obter água aquecida nos domicílios.

De construção simples, o chuveiro elétrico era constituído de um elemento de aquecimento resistivo, chamado usualmente de "resistência". Esse elemento era feito de um fio espiralado composto de metais com alto ponto de fusão, como o níquel, o cromo ou uma liga dos dois metais, que ao ser submetido à corrente elétrica, se aquece e esquenta imediatamente a água. Também era dotado de uma alavanca que abre/fecha a água e liga/desliga a eletricidade, além do espalhador de água, sempre parecido com os tradicionais chuveiros.

Os primeiros chuveiros elétricos não eram muito seguros em virtude da negligência por parte de fabricantes e instaladores quanto à isolação eficaz de condutores elétricos, elementos energizados e a carcaça metálica do aparelho, ocasionando choques elétricos. O fenômeno eletrolítico gerado na água pela resistência elétrica e a carcaça de chuveiros metálicos também produzia pequenos choques e formigamentos ao tocar no registro de água (HISTÓRIA DO CHUVEIRO, 2009).

Esses primeiros chuveiros, para funcionar com aquecimento, precisavam estar com a água corrente para apenas após isso, ser fechado o circuito elétrico, que alimenta a resistência e aquece a água. Nos anos 40, foi desenvolvido um chuveiro que se ligava automaticamente ao abrir o registro de água. Este sistema dotava o chuveiro elétrico de um diafragma de borracha, onde os contatos elétricos e uma resistência eram fixados. Ao circular a água pelo aparelho, a pressão inflava o diafragma, fazendo com que os contatos se tocassem e houvesse circulação de corrente elétrica. Adicionalmente, este sistema também possuía duas resistências, de forma que a combinação de funcionamento delas proporcionava o ajuste de várias temperaturas da água do banho. Este sistema é a base de praticamente todos os chuveiros elétricos desenvolvidos até hoje.

Em virtude dos altos custos com canalizações de gás, que poderiam alavancar o modelo de aquecimento a gás, o chuveiro elétrico se tornou um eletrodoméstico muito popular no Brasil sendo utilizado por quase toda a população, principalmente após uma extensa propaganda feita pelos fabricantes. Com o desenvolvimento e a aplicação industrial do plástico, no final da década de 60, surgiram os primeiros chuveiros elétricos feitos em plásticos, como polietileno, *nylon* e baquelita. Além do custo reduzido e da possibilidade de inovações de *design*, o

uso do plástico também proporcionou melhor isolamento elétrico em relação aos chuveiros metálicos, uma vez que raramente eram aterrados como recomendavam os fabricantes. Também, no final dos anos 80, a adoção de resistências blindadas e as novas normas de aterramento e instalação elétrica também contribuíram para que os chuveiros elétricos tornassem aparelhos mais seguros (HISTÓRIA DO CHUVEIRO, 2009).

## 2.2 CONSUMO DE ENERGIA

Segundo Silva (2000), “o chuveiro elétrico está presente em 67,6% dos domicílios” e segundo Achão (2003), “o aquecimento de água residencial é muito expressivo nas regiões Sul e Sudeste do país, onde mais de 85% dos domicílios possuem chuveiro elétrico”. Uma desvantagem desses chuveiros está no consumo de energia. Como a ação de aquecer a água necessita de muitas calorías, a resistência elétrica consome muita energia para incandescer e promover o aquecimento da água.

Se compararmos a potência dos chuveiros com outros eletrodomésticos, alguns desses considerados de grande consumo como aquecedores de ambiente, ferros de passar roupas, fornos elétricos ou secadores de cabelo, apresentam, em suas potências máximas, em média 1500 watts em 120 ou 127 volts; e até 2500 watts em 220 volts. Um chuveiro elétrico, por sua vez, em sua potência mínima, consome entre 2500 e 3200 watts, chegando a consumir 5500 watts em 127 volts e até 8800 watts em 220 volts (HISTÓRIA DO CHUVEIRO, 2009).

O equilíbrio do consumo do chuveiro com os demais equipamentos está no seu tempo de utilização, que é de apenas alguns minutos enquanto os demais são utilizados por várias horas, como um ar condicionado ou geladeira. No entanto, apesar dos fabricantes e órgãos ambientais recomendarem banhos de menos de 10 minutos, no Brasil, normalmente ele se estende até os 20 ou 30 minutos, contando o fato que é muito comum se tomar mais de um banho diário em algumas regiões do país.

Uma vantagem dos chuveiros elétricos é refletida no consumo de água. Outros sistemas, cujo aquecimento não é instantâneo, apresentam um inconveniente onde, até que se atinja a temperatura desejada, desperdiça-se uma

quantidade considerável de água e energia, tanto maior quanto a distância entre o sistema de aquecimento e o ponto de consumo (ADENE, 2010), enquanto o chuveiro elétrico permite o consumo imediato, sem desperdício de água durante o aquecimento até a temperatura de conforto.

### 2.3 ALTERNATIVAS PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA

Dentre as alternativas energéticas usuais para aquecimento de água, pode-se classificar os aquecedores de acordo com dois parâmetros (ZOELLNER, 2005):

- Fonte de Energia
- Forma de Acumulação da Água.

Existem três tipos de aquecedores de acordo com seu tipo de fonte de energia que são:

- Aquecedor a gás
- Aquecedor elétrico
- Aquecedor solar

Cada um destes tipos citados tem subdivisões de acordo com a forma de aquecimento utilizada devido à forma de estabelecimento do contato da água com a fonte de calor. Segue abaixo classificação pela forma de transferência de calor.

- Aquecedor a gás
  - De passagem
  - De acumulação
- Aquecedor elétrico
  - De passagem central
  - De acumulação
  - De passagem individual.
- Aquecedor solar
  - De acumulação.

## 2.4 AQUECIMENTO DE ÁGUA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

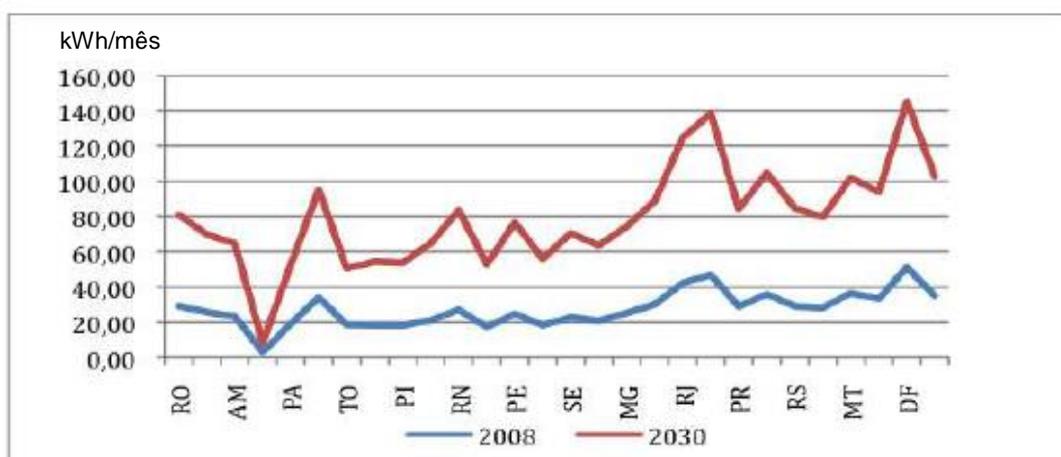
Segundo o Ministério de Minas e Energia (2011), a utilização de chuveiros elétricos para aquecimento de água é disseminada no Brasil como em nenhum outro país. Tal fato se deve em função do incentivo ao uso de equipamentos elétricos devido à crise do petróleo, ocorrido na década de 70, do excedente de energia elétrica no mercado com a construção de diversos empreendimentos hidrelétricos e da falta de preocupação iminente quanto ao uso desses chuveiros ou outros equipamentos elétricos.

Ao longo do tempo, no entanto, essa solução produz efeitos indesejados no setor de energia elétrica, principalmente nos horários de ponta, quando a demanda de energia elétrica atinge seu pico diário (MME, 2011)

Em 2007, a ELETROBRÁS/PROCEL apresentou o relatório “Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil – Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso”, onde pode-se observar que (PROCEL, 2007):

- 80,9% dos domicílios brasileiros aqueciam a água do banho;
- 73,5% dos sistemas de aquecimento utilizavam energia elétrica;
- 5,9% utilizavam gás;
- 0,4% utilizavam aquecimento solar

Além disso, as projeções mostram uma evolução do número de chuveiros de posse da população brasileira de 39,7 milhões em 2001 para cerca de 69,7 milhões de unidades em 2030 (MME, 2011). No Gráfico 1 é apresentada a projeção estadual de consumo por domicílio, em 2030.



**Gráfico 1- Projeção estadual: consumo de chuveiros elétricos por domicílio (2030)**  
 Fonte: PROCEL, 2007

Embora a contribuição dos chuveiros elétricos seja expressiva na demanda e no consumo de energia, em função do baixo custo inicial e da facilidade de instalação, continuarão participando representativamente do aquecimento de água no Brasil. Em função disso, é necessário que sejam incentivadas e desenvolvidas tecnologias mais eficientes e inovadoras para o aquecimento de água, em substituição ao chuveiro elétrico.

Dentro desse contexto, pode ser citado, principalmente, o aquecimento solar de água que, em função de incentivos governamentais, está apresentando grande crescimento na participação do mercado de aquecimento de água doméstico, especialmente na classe baixa renda (ANEEL, 2013). No entanto, empresas e inventores buscam, frequentemente, inovações que possam apresentar evoluções nas formas de aquecer a água.

Existem atualmente, disponíveis no mercado, controladores automáticos de temperatura, que podem ser acoplados a chuveiros elétricos comuns, e que regulam a demanda de forma que não seja consumido nada além da energia necessária para aquecer a água na temperatura desejada. Tais equipamentos trabalham com sinais PWM<sup>1</sup> e possuem alto fator de potência (E-POWER, 2013). Também existem sistemas que permitem reaproveitar o calor gerado pelo chuveiro através de um recuperador de calor, instalado no piso sob o chuveiro. Esse sistema pré-aquece a água que será, em seguida, complementada pelo aquecimento de um chuveiro elétrico de potência reduzida. O resultado é a redução no consumo sem prejuízo na temperatura do banho (REWATT, 2013).

Além desses, ainda existem algumas invenções, não disponíveis comercialmente, como a proposta por Antônio Marcelino dos Santos, cuja patente é a de número MU7502547-7, sob o título “Sistema de aquecimento de água por indução eletromagnética” (SANTOS, 1995).

Assim, é preciso que haja, não apenas incentivo do mercado e das ações governamentais, como também a conscientização da população para que os benefícios das ações de eficiência energética sejam realmente alcançadas. Conforme cita o Greenpeace, em sua cartilha *Revolução Energética*:

---

<sup>1</sup> PWM – Pulse-Width Modulation (Modulação por largura de pulso)

É preciso uma mudança radical, uma verdadeira revolução na forma como a energia é produzida, distribuída e consumida, para impedir que os impactos das mudanças climáticas sejam ainda mais drásticos. Essa revolução deve começar imediatamente e estar em pé nos próximos dez anos.

O futuro da conservação de energia no mundo passa por seu uso inteligente. Por isso, o cenário Revolução Energética leva em conta não só a forma como produzimos mas também como consumimos energia elétrica. Até 2050, espera-se que 26% da demanda energética possa ser reduzida com a implantação de medidas que usem o lema “mais com menos”. É mais barato investir em eficiência energética que gerar mais energia, além de mais simples, com muitas medidas adotadas individualmente. (GREENPEACE, 2010)

## 2.5 HISTÓRICO DO AQUECIMENTO INDUTIVO

Todos os materiais condutores de eletricidade oferecem uma oposição ao fluxo das cargas elétricas, chamada resistência, e que realiza a transformação da energia elétrica em energia térmica, ocasionando um aumento de temperatura no material condutor (GONZÁLES, 2008). Essa transferência de energia é descrita pela Lei de Joule. Esse fenômeno explica diretamente a forma de aquecimento de um chuveiro elétrico, onde a resistência se aquece quando há circulação de corrente elétrica entre seus terminais. O aquecimento por indução magnética, por sua vez, é uma aplicação direta da Lei de Faraday-Maxwell.

No passado, a produção de calor por meio de indução foi considerado uma transformação de energia indesejável. Entretanto, essa visão muda a partir do estudo das correntes parasitas induzidas por campos magnéticos variáveis no tempo, conhecidas também com o nome de Correntes de Foucault e, em particular, o uso da corrente alternada em altas frequências. É neste momento que são iniciados o desenvolvimento de sistemas baseados no aproveitamento desses fenômenos. O aquecimento indutivo também se baseia no princípio descrito por Joule, na produção de calor através das correntes indutivas que circulam no material condutor, no qual se deseja aquecer.

## 2.6 CARACTERÍSTICAS DO AQUECIMENTO INDUTIVO

O processo de aquecimento por indução apresenta diversas características, que podem ser divididas conforme os benefícios listados abaixo (CALLEBAUT, 2007):

Processo Técnico - características e benefícios:

- em função da elevada densidade de potência, um equipamento de aquecimento por indução pode ser compacto e realizar um aquecimento rápido;
- oferece a possibilidade de atingir temperaturas muito altas;

Consumo de Energia - características e benefícios:

- equipamentos de aquecimento por indução geralmente apresentam boa eficiência. No entanto, a eficiência também depende das características do material a ser aquecido;
- parte importante das perdas de calor pode ser recuperado;

Qualidade - características e benefícios:

- possível trabalhar em ambientes com vácuo ou atmosferas inertes
- o local de aquecimento pode ser determinado com precisão
- o aquecimento pode ser regulado com precisão

Ambiente e condições de trabalho - características e benefícios:

- não produz gases de combustão

Limitações

- Uma instalação para aquecimento por indução normalmente implica em um grande investimento, que deve ser considerada em comparação com outras técnicas de aquecimento.
- Na indústria, o aquecimento por indução é preferencialmente utilizado para o aquecimento de formas relativamente simples.

## 2.7 USOS DO AQUECIMENTO POR INDUÇÃO

Os equipamentos de indução possuem uma tecnologia conhecida há muito tempo e existem inúmeras aplicações, especialmente na indústria, onde são utilizados para o aquecimento de metais, em diversas temperaturas, e, usualmente,

em posições bem específicas do elemento a ser aquecido, como por exemplo a aplicação mostrada na Fotografia 1.



**Fotografia 1 - Aquecimento indutivo na indústria**  
**Fonte: Gonzáles (2008)**

Outra área de aplicação, bastante difundida, é a aplicação na cocção de alimentos, através do uso de fogões de indução (Fotografia 2). Tais equipamentos, embora seja possível adquiri-los no Brasil, representam um percentual muito pequeno quando comparado à outras tecnologias tradicionais, diferente de alguns países do hemisfério norte, onde o uso de sistemas indutivos para a cocção já está estabelecido e continua em expansão.



**Fotografia 2 - Aquecimento indutivo na cozinha**  
**Fonte:**  
<http://ccabinet.files.wordpress.com/2012/12/induction-cooktop1.jpg>

## 2.8 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO - INDUÇÃO

Indução eletromagnética, ou simplesmente indução, é uma técnica para o aquecimento para materiais que são condutores elétricos (metais). O aquecimento por indução é frequentemente aplicado em vários processos térmicos, tais como a fusão e o aquecimento de metais (CALLEBAUT, 2007).

Uma característica importante do aquecimento por indução é que o calor é gerado diretamente no material que se deseja aquecer. Devido a isto, o aquecimento por indução apresenta uma resposta muito rápida, uma boa eficiência e ainda permite aquecer um determinado local com precisão. As velocidades de aquecimento são extremamente elevadas devido à elevada densidade de potência.

### 2.8.1 Princípios Físicos

O princípio do aquecimento por indução é baseado, principalmente, em dois conhecidos fenômenos físicos:

- a. Indução Eletromagnética
- b. Efeito Joule

#### 2.8.1.1 Indução eletromagnética

A transferência de energia para o objeto a ser aquecido ocorre por meio de indução eletromagnética. Sabe-se que num circuito de material condutor uma corrente alternada é induzida, quando este laço é colocado num campo magnético alternado (Figura 1). A fórmula é a seguinte:

$$E = \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

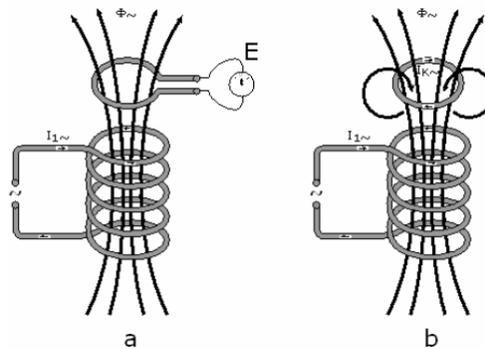
**Fonte: CALLEBAUT (2007)**

E : Tensão [V]

$\Phi$  : Fluxo Magnético [Wb]

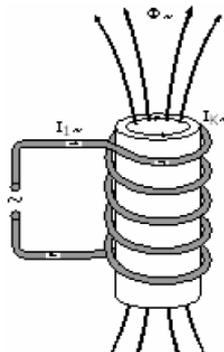
t : tempo [s]

Quando o circuito está curto-circuitado, a tensão induzida e irá causar um fluxo de corrente que se opõe à sua causa - o campo magnético alternado. Isto é a Lei de Faraday - Lenz (ver Figura 1 b).



**Figura 1 - Lei de Faraday**  
**Fonte: CALLEBAUT (2007)**

Se um condutor metálico, em formato cilíndrico, por exemplo, for colocado no campo magnético alternado, as correntes de Foucault serão induzidas nele ocasionando o aquecimento do condutor de acordo com o efeito Joule.



**Figura 2 - Correntes de Foucault**  
**Fonte: CALLEBAUT (2007)**

Observação: em aplicações práticas, em muitos casos, um solenoide ou bobina será utilizada para gerar o campo magnético. No entanto, as aplicações de aquecimento por indução não estão limitados a esta forma de indutor.

### 2.8.1.2 Efeito Joule

Quando uma corrente  $I$  [A] flui através de um condutor com a resistência  $R$  [ $\Omega$ ], a energia é dissipada no condutor.

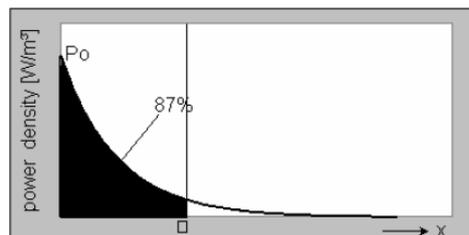
$$P = R \cdot I^2 \quad [\text{W}] \quad (2)$$

**Fonte: CALLEBAUT (2007)**

Na maioria das aplicações de aquecimento por indução, a resistência  $R$  não pode ser determinada dessa forma. A razão é a distribuição não uniforme da corrente no condutor.

### 2.8.2 Profundidade de Penetração

Uma característica comum da corrente alternada é que ela se concentra na parte externa de um condutor. Este é o chamado efeito “*skin*”. As correntes de Foucault, que são induzidas no material a ser aquecido, também são maiores na superfície externa e diminuem em direção ao centro do condutor. Assim, a maior parte do calor é gerada na parte exterior do condutor. O efeito “*skin*” é caracterizado pela sua chamada profundidade de penetração  $\delta$ , que é definida como a espessura da camada, medida a partir do exterior, em que se localiza 87% da energia (Figura 3).



**Figura 3 - Profundidade de Penetração**

**Fonte: CALLEBAUT (2007)**

A profundidade de penetração pode ser deduzida das equações de Maxwell. Para um condutor cilíndrico com um diâmetro muito maior que  $\delta$ , a equação é mostrada a seguir:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \cdot \mu \cdot f}} \quad [\text{m}] \quad (3)$$

Fonte: CALLEBAUT (2007)

$\rho$ : resistividade [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]

$\mu$ : permeabilidade magnética [ $\text{H/m}$ ] ( $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ )

$f$ : frequência [ $\text{Hz}$ ]

Podemos observar que a profundidade de penetração depende das características do material que será submetido ao aquecimento ( $\rho$ ,  $\mu$ ) mas, por outro lado, também pode ser influenciado pela frequência. Portanto, essa dependência permite que, com o controle da frequência, haja variação também na profundidade de penetração. Na Tabela 1 são mostrados alguns materiais com suas respectivas profundidades de penetração.

**Tabela 1 - Profundidade de Penetração**

| $\delta$ in [mm]                        | Steel<br>20°C | Steel<br>20°C | Copper<br>20°C | Copper<br>900°C | Graphite<br>20°C |
|---|---------------|---------------|----------------|-----------------|------------------|
| $\rho$ [ $\mu\Omega \cdot \text{m}$ ] → | 0.16          | 0.16          | 0.017          | 0.086           | 10               |
| $\mu_r$ [-] →                           | 40            | 100           | 1              | 1               | 1                |
| Frequency ↓                             |               |               |                |                 |                  |
| 50 Hz                                   | 4.50          | 2.85          | 9.31           | 20.87           | 225.08           |
| 100 Hz                                  | 3.18          | 2.01          | 6.58           | 14.76           | 159.15           |
| 1 kHz                                   | 1.01          | 0.64          | 2.08           | 4.67            | 50.33            |
| 10 kHz                                  | 0.32          | 0.20          | 0.66           | 1.48            | 15.92            |
| 100 kHz                                 | 0.10          | 0.06          | 0.21           | 0.47            | 5.03             |
| 1 MHz                                   | 0.03          | 0.02          | 0.07           | 0.15            | 1.59             |

Fonte: CALLEBAUT (2007)

Como pode ser deduzido a partir da equação ( 3 ), a profundidade de penetração é inversamente proporcional à raiz quadrada de  $\mu_r$ .

Para materiais não-magnéticos, como cobre ou alumínio, a permeabilidade magnética relativa é  $\mu_r = 1$ . Por outro lado, materiais ferromagnéticos, como ferro e muitos tipos de aço, possuem um valor de  $\mu_r$  muito maior. Dessa forma, esses materiais apresentam, de forma mais explícita, o efeito “*skin*”, ou seja, menor  $\delta$ .

A permeabilidade magnética de materiais ferromagnéticos depende fortemente da composição dos materiais e das circunstâncias (temperatura, a

intensidade do campo magnético, a saturação). Acima da temperatura de Curie,  $\mu_r$  repentinamente cai novamente para  $\mu_r = 1$ , o que implica um rápido aumento da profundidade de penetração.

## 2.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Frente ao aumento na demanda por energia elétrica e água potável, Torna-se cada vez mais importante a busca de alternativas para o melhor aproveitamento dos recursos naturais. Nesse sentido, um dos mercados que carece de evoluções tecnológicas é o de chuveiros elétricos. Entre os diversos sistemas usuais de aquecimento de água para banho, o mais usual e mais difundido no mercado nacional é o chuveiro elétrico, onde a água é aquecida pela dissipação de potência de uma resistência.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a proposta e os procedimentos utilizados para a avaliação.

#### 3.1 PROPOSTA

A proposta desse trabalho é fazer um estudo comparativo entre o aquecimento de água utilizando um equipamento com elemento resistivo e outro utilizando indução magnética. A análise entre os dois sistemas terá como objetivo observar o nível de aquecimento e o consumo de energia, de forma que seja possível identificar qual das tecnologias é mais eficiente energeticamente.

##### 3.1.1 Sistemas de Aquecimento com Elemento Resistivo

Para o sistema com elemento resistivo, foram elaboradas duas bancadas, conforme segue:

###### 3.1.1.1 Sistema 1

Para o sistema com elemento resistivo, foi adaptada uma resistência, cuja dissipação de potência é de aproximadamente 650W. Tal potência é similar à uma das potências configuráveis do equipamento que possui o elemento indutivo. Essa resistência foi acoplada a tubos metálicos, similar ao utilizado no ensaio do sistema indutivo, por onde circularia a água durante o aquecimento.

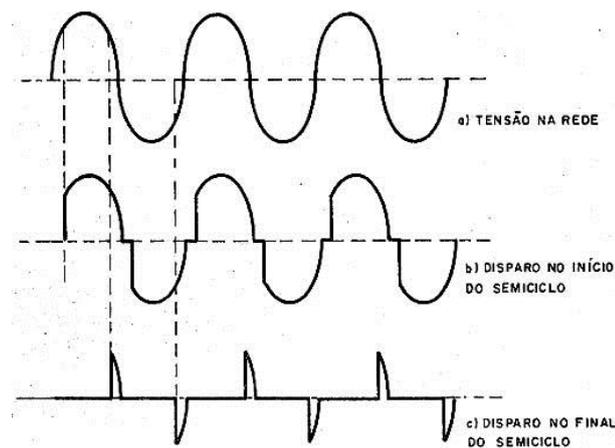
Nos próximos capítulos, esse sistema também será indicado pela sigla “Sist.1”.

### 3.1.1.2 Sistema 2

Adicionalmente, também foi realizado um comparativo dos resultados com um chuveiro elétrico. Para essa bancada, também com elemento resistivo, foi utilizada uma ducha eletrônica de 7.700W, disponível no comércio local e cujas características podem ser verificadas no Anexo IV. A utilização de um equipamento com controle eletrônico é interessante, pois permite o ajuste em diversas posições de potência e a comparação com outros sistemas. Esse chuveiro possui uma haste que permite acionar um controle eletrônico, que é totalmente baseado em dispositivos de estado sólido, ou seja, em semicondutores (BRAGA, 2013).

Esses elementos de estado sólido permitem que a potência aplicada ao elemento de aquecimento do chuveiro seja ajustada numa faixa de aproximadamente 5% a 100%, o que significa que a temperatura da água pode ser ajustada linearmente nesta mesma faixa. Nesse equipamento, conforme mostrado na Figura 4, tal ajuste faz com que os ângulos de disparo sejam controlados, fazendo com que apenas parte da onda senoidal seja transferida à carga, variando a potência média aplicada ao elemento resistivo. Dessa forma é possível variar a temperatura na qual a água será aquecida.

Nos próximos capítulos, esse sistema também será indicado pela sigla “Sist.2”.



**Figura 4 - Chuveiro Eletrônico: variação de Potência na Carga**  
**Fonte BRAGA, Newton**

### 3.1.2 Sistema de Aquecimento com Elemento Indutivo

Para o aquecimento por indução foi utilizado como base um fogão de mesa por indução de 1.300W, cuja passagem de água se deu através de tubos construídos para se adaptar a forma da bobina indutiva do equipamento. O equipamento indutivo utilizado possui um controle eletrônico, que permite ajustar, discretamente, seis níveis de potência que podem ser fornecidos para a carga (Anexo V).

No equipamento por indução, uma bobina é excitada usualmente em uma alta frequência. Dessa forma, o campo eletromagnético, que também oscila nessa frequência, induz correntes em objetos metálicos que estejam próximos à ele. Estas correntes induzidas, ao circular nesses objetos metálicos, irão causar aquecimento no metal através do efeito Joule e conseqüentemente na água que circula no seu interior. O efeito Joule é o mesmo efeito que faz o chuveiro elétrico funcionar. Dependendo das características do material, da geometria e de outras situações intrínsecas ou extrínsecas, o resultado do aquecimento pode ser mais ou menos eficaz.

Para esse trabalho, a proposta para avaliar o aquecimento por indução é utilizar um fogão de mesa de 1 boca, com tecnologia de indução, e uma serpentina acoplada, fabricada em material metálico em dimensões compatíveis com o equipamento, além dos tubos de acoplamento. A serpentina será instalada próxima à bobina de indução do equipamento de forma que sejam induzidas correntes quando esta estiver imersa no campo eletromagnético. Com a circulação dessas correntes induzidas, haverá aquecimento dos tubos através do efeito Joule e, conseqüentemente, aquecimento da água que passa por dentro desse tubo.

## 3.2 BANCADA DE TESTES

Para a avaliação da proposta, foram preparadas três bancadas de testes, uma para o sistema de aquecimento indutivo e duas para o resistivo, nas quais foram executados os testes cujos resultados são apresentados no item 4.1.

### 3.2.1 Bancada de Testes do Aquecimento Resistivo

Para a realização dos ensaios, as duas bancadas do sistema indutivo foram montadas conforme são mostradas a seguir:

#### 3.2.1.1 Sistema 1: Resistência elétrica e tubos metálicos

A bancada de testes da resistência elétrica consiste nos seguintes equipamentos:

- Resistência Elétrica de aproximadamente 25 ohms, que ao ser ligada em 127V apresentava uma dissipação de 650 W;
- Vasilha graduada;
- Tubulação metálica para circulação da água;
- Tubos plásticos e conexões;
- Cronômetro digital;
- Termômetro digital infravermelho, com mira laser (Anexo III);
- Analisador de Energia IMS PowerNet P600, com alicates de corrente com detecção na faixa de 0,1 a 200A (Anexo I).

Basicamente, a tubulação metálica foi acoplada sobre a resistência, de forma que a configuração seja similar à bancada do sistema indutivo proposto. A medição de temperatura é realizada na saída da água da tubulação. Nas imagens a seguir podem ser vistas as configurações gerais do sistema:



**Fotografia 3- Serpentina no dispositivo de aquecimento resistivo**

**Fonte: Autoria Própria**



**Fotografia 4 - Analisador de Energia**  
**Fonte: Autoria Própria**

### 3.2.1.2 Sistema 2: Chuveiro elétrico

A bancada de testes do chuveiro elétrico consiste nos seguintes equipamentos:

- Chuveiro de 7.700W, com controle eletrônico de potência (Anexo IV);
- Vasilha graduada;
- Cronômetro digital;
- Termômetro digital infravermelho, com mira laser (Anexo III);
- Analisador de Energia IMS PowerNet P600, com alicates de corrente com detecção na faixa de 0,1 a 200A (Anexo I).

No sistema resistivo 2, o controle da potência e do aquecimento será realizada através do ajuste da haste, mostrada na Fotografia 5. Nas imagens a seguir podem ser vistas as configurações gerais do sistema:



**Fotografia 5 - Chuveiro, com haste que aciona o controle eletrônico**  
**Fonte: Autoria Própria**



**Fotografia 6 - Ligação dos equipamentos de Medição**  
**Fonte: Autoria Própria**



**Fotografia 7 - Analisador de Energia**  
**Fonte: Autoria Própria**

### 3.2.2 Bancada de Testes do Aquecimento Indutivo

A bancada de testes do aquecimento indutivo consiste nos seguintes equipamentos:

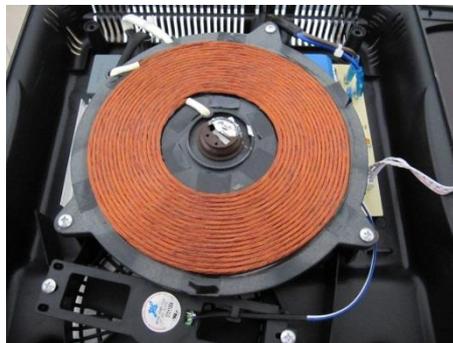
- Fogão de Mesa por Indução, de uma boca (Anexo V), que possui 6 níveis de ajuste de potência;
- Tubulação metálica para circulação da água;
- Tubos plásticos e conexões;
- Vasilha graduada;
- Cronômetro digital;
- Termômetro digital infravermelho, com mira laser (Anexo III);

- Analisador de Energia IMS PowerNet P600, com alicates de corrente com detecção na faixa de 0,1 a 200A (Anexo I).

O sistema indutivo possui a tubulação metálica acoplada sobre a superfície onde é gerado o campo eletromagnético. O controle de potência é ajustado através dos controles mostrados na Fotografia 11. A medição de temperatura é realizada na saída da tubulação, com o equipamento mostrado na Fotografia 12. A medição das grandezas elétricas é realizada pelo analisador de energia, mostrado na Fotografia 13 cujo alicate de corrente foi instalado conforme a Fotografia 14. A visão geral do sistema pode ser visto nas imagens a seguir:



**Fotografia 8 - Fogão de Mesa de Indução, utilizado no experimento**  
Fonte: ELECTROLUX, 2013



**Fotografia 9 - Visão da espira indutiva do fogão**  
Fonte: Autoria Própria



**Fotografia 10 - Serpentina acoplada ao dispositivo de aquecimento por indução**  
**Fonte: Autoria Própria**



**Fotografia 11 - Controles de Potência do sistema de aquecimento por indução**  
**Fonte: Autoria Própria**



**Fotografia 12 - Medição da temperatura da água com termômetro infravermelho**  
**Fonte: Autoria Própria**



**Fotografia 13 - Equipamento  
Analisador de Energia  
Fonte: Aatoria Própria**



**Fotografia 14 - Alicate de Corrente  
conectado ao sistema de indução  
Fonte: Aatoria Própria**

### 3.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O presente trabalho trata da comparação entre dois sistemas, indutivo e resistivo. Alguns equipamentos utilizados para a medição, como o termômetro de mira laser, por exemplo, não são os mais adequados para a aquisição dos dados na situação proposta. No entanto, por se tratar de um estudo comparativo onde a coleta de dados será similar para todos os experimentos, eventuais erros resultantes da precisão equipamento ou do procedimento de medição não serão significativos visto que a informação utilizada é a variação desses dados. No caso da temperatura é considerado apenas o delta de temperatura, ou seja, a temperatura final menos a temperatura inicial, e nunca valores absolutos.

### 3.4 GRANDEZAS MONITORADAS

Para que o estudo seja válido, foram monitoradas as seguintes grandezas para posterior comparação:

- Demanda do equipamento [W]
- Consumo do equipamento [kWh]
- Temperatura de Entrada da água [°C]
- Temperatura de Saída da água [°C]
- Delta de Temperatura entre a entrada e a saída [°C]
- Vazão de água [l/min]

### 3.5 CARACTERÍSTICAS DOS ENSAIOS

A seguir são apresentados, de forma resumida, os ensaios realizados. Nos próximos itens é apresentado, detalhadamente, o procedimento de cada um deles.

**Tabela 2 – Resumo dos Ensaios**

| ENSAIO | BANCADAS  | OBJETIVO   | GRANDEZA CONTROLADA          | GRANDEZA MONITORADA          |
|--------|---|--|------------------------------|------------------------------|
| 1      | Resistiva (sistema 1) e Indutiva com serpentina             | Em potências equivalentes, monitorar a variação de aquecimento da água.                  | Potência Ativa [W]           | Variação de Temperatura [°C] |
| 2      | Resistiva do chuveiro (sistema 2) e indutiva com serpentina | Para diversas variações de temperatura, monitorar a demanda de potência em cada sistema. | Variação de Temperatura [°C] | Potência Ativa [W]           |

Fonte: Autoria Própria

### 3.6 PROCEDIMENTO DE ENSAIO

O objetivo principal é monitorar a demanda de potência ativa [W], necessária para o aquecimento da água, sob condições específicas.

Primeiramente, é realizada a verificação a vazão da água nos sistemas. A verificação desse procedimento é realizada com auxílio de uma vasilha graduada ou de volume conhecido e um cronômetro.

Antes do ensaio, foram instalados equipamentos para registrar as grandezas necessárias ao experimento. No circuito elétrico do sistema de aquecimento com elemento resistivo e também no sistema de aquecimento por indução, foram utilizados equipamentos analisadores de energia, que registraram tensão, corrente, demanda de potência ativa, consumo, além de fator de potência. Os equipamentos utilizados foram configurados de forma que os dados coletados sejam integralizados a cada segundo.

Também, antes de iniciar o procedimento, foi verificada a temperatura de entrada da água para cada sistema. Essa informação, obtida com auxílio de um termômetro digital a laser, foi utilizada para definir qual é o incremento no aquecimento da água proporcionado pelo sistema.

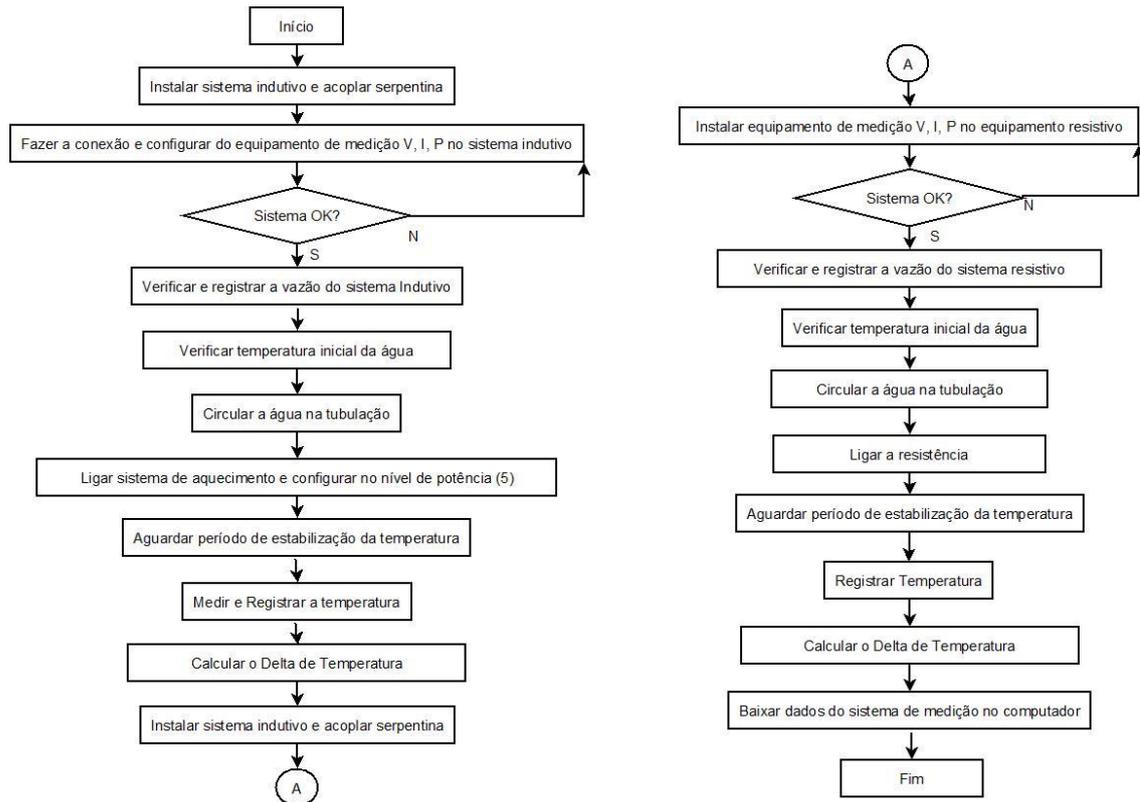
### 3.6.1 Avaliação 1

Inicialmente, foram avaliados o aquecimento indutivo e o aquecimento resistivo do Sistema 1, onde a água é aquecida ao circular pela serpentina metálica.

Para essa avaliação, foram realizadas medições de potência nos dois sistemas e, para uma determinada potência, foram obtidos os níveis de temperatura e os respectivos incrementos no aquecimento da água.

Para o sistema resistivo, verificou-se que a demanda de potência ativa, quando alimentada com 127V, era de aproximadamente 650W. Dessa forma, para fins comparativos, a demanda de potência ativa do sistema indutivo foi ajustado, através dos controles discretos disponíveis no equipamento, com valores equivalentes ao sistema resistivo. A configuração do sistema indutivo indicou que a análise deveria ser realizada no nível de potência 5 (dentre os 6 possíveis) e que apresentava demanda média de aproximadamente 670W.

O fluxograma desse procedimento é mostrado a seguir, na Figura 5:



**Figura 5 – Fluxograma Avaliação 1**  
**Fonte: Autoria Própria**

Nessa primeira avaliação, deseja-se verificar qual é o nível de aquecimento resultante em cada sistema, similares fisicamente e em condições semelhantes de demanda de potência. Assim, para ambos os sistemas, após circulação inicial de água na tubulação os dispositivos foram ligados e, após atingir o regime permanente de temperatura da água, a mesma foi obtida e registrada.

### 3.6.2 Avaliação 2

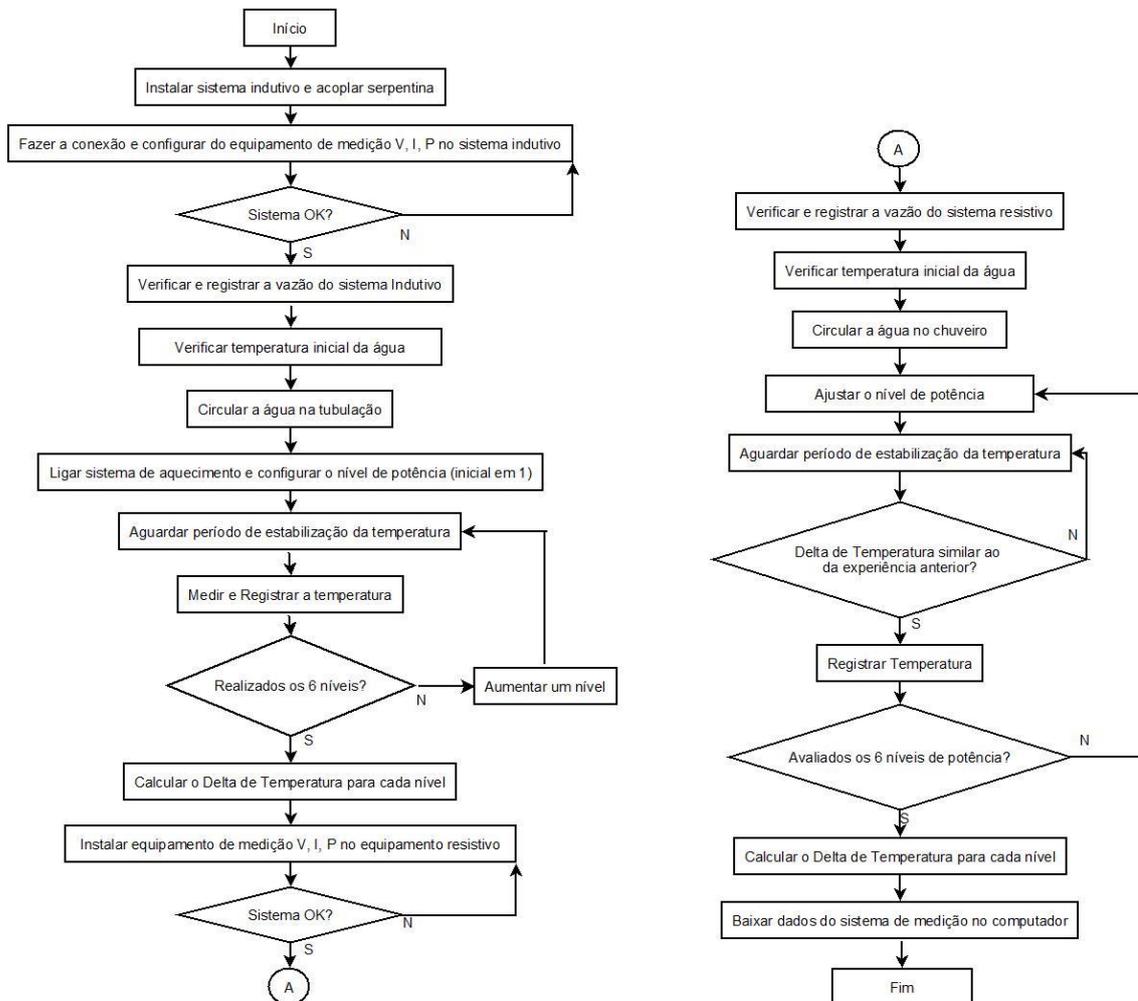
Na segunda avaliação foram verificados o sistemas de aquecimento indutivo e o sistema 2 do aquecimento resistivo, cuja bancada possui um chuveiro elétrico.

Diferente da primeira avaliação, onde a demanda de potência era comum para os dois sistemas, agora o incremento de temperatura será fixada para comparação.

Quanto ao chuveiro elétrico, devido à simplicidade no ajuste da potência e temperatura, esse sistema foi ajustado conforme as informações de saída de temperatura do sistema com aquecimento por indução.

Assim, após a circulação inicial de água no sistema de aquecimento por indução, o dispositivo foi ligado e, após atingir o regime permanente de aquecimento da água, a temperatura da mesma foi obtida e registrada. Com essa informação, o sistema com chuveiro elétrico foi ajustado de forma a obter uma variação similar de temperatura, procedendo dessa forma o registro dos dados de temperatura de saída e o incremento de aquecimento. Nesse momento, para os dois sistemas, foram obtidos os registros das leituras de tensão, corrente, demanda de potência ativa, consumo e fator de potência e registradas para posterior análise. Tal procedimento foi repetido para as demais potências possíveis de ajuste no equipamento de indução, sempre com posterior ajuste no sistema com aquecimento resistivo.

Para melhor entendimento, o fluxograma é descrito a seguir, na Figura 6:



**Figura 6 – Fluxograma Avaliação 2**  
**Fonte: Autoria Própria**

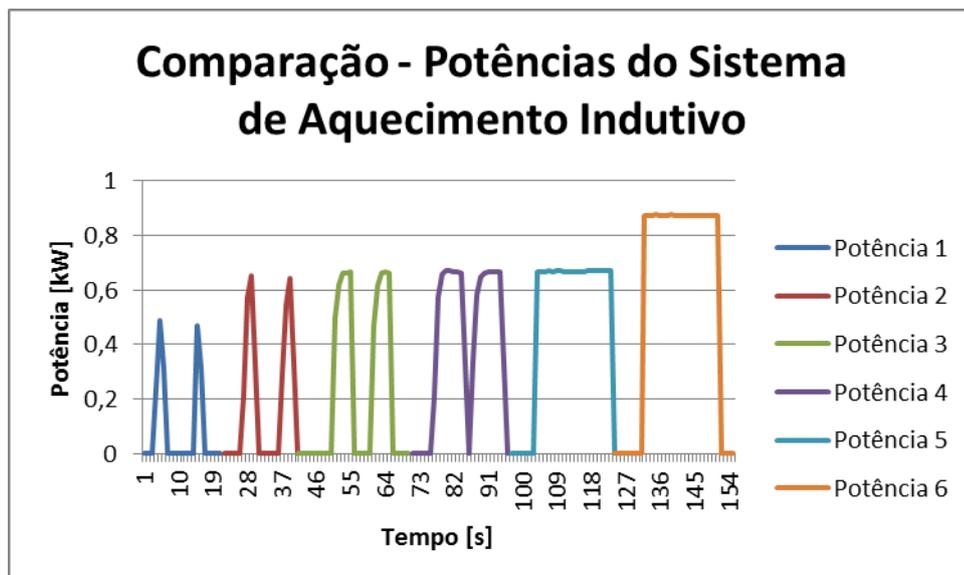
## 4 RESULTADOS

### 4.1 RESULTADOS OBTIDOS

Através do procedimento demonstrado no capítulo anterior, foram obtidos, para cada bancada, os seguintes resultados:

#### 4.1.1 Aquecimento Indutivo: Resultados

A potência aplicada à carga, e medida pelo Analisador de Energia, é conforme o formato do Gráfico 2. Foram apresentados apenas 20 segundos de cada nível de potência, apenas para fins de comparação. Dentro de cada pulso, apesar de ter sido utilizado um osciloscópio da marca Agilent, modelo portátil U1602B, não foi possível definir qual é a forma de onda aplicada na bobina indutiva em virtude da tensão medida ser maior que 600V, que é a tensão máxima permitida entre os terminais do equipamento.



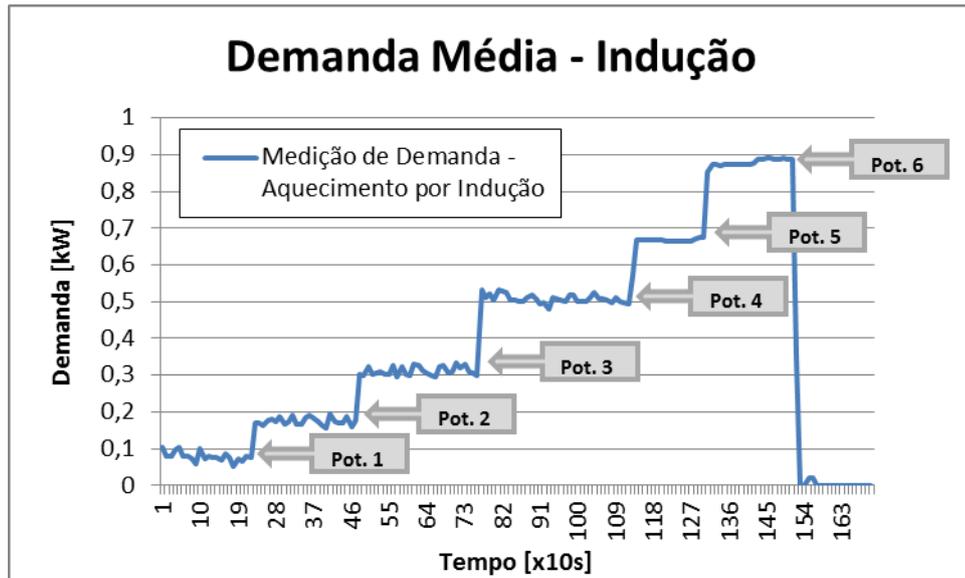
**Gráfico 2 - Potência aplicada à carga, para cada nível**  
**Fonte: Autoria Própria**

**Tabela 3 - Trecho do arquivo de medição do Sistema Indutivo**

| Total de Registros:1783 |            |       |      |        |        |        |       |       |
|-------------------------|------------|-------|------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Identificacao : 0000006 |            |       |      |        |        |        |       |       |
| SN: 3011426             |            |       |      |        |        |        |       |       |
| Data                    | Hora       | V_1   | I_1  | kW_1   | kVAr_1 | FP_1   | Imin1 | Imax1 |
| 03/08/2013              | 10:47:23:0 | 125,5 | 0    | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     |
| 03/08/2013              | 10:47:24:0 | 125,5 | 0    | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     |
| 03/08/2013              | 10:47:25:0 | 124,1 | 3,78 | -0,431 | 0,186  | -0,918 | 2,47  | 4,2   |
| 03/08/2013              | 10:47:26:0 | 123,3 | 5,16 | -0,6   | 0,215  | -0,941 | 4,7   | 5,24  |
| 03/08/2013              | 10:47:27:0 | 123,2 | 5,6  | -0,653 | 0,225  | -0,946 | 5,4   | 5,66  |
| 03/08/2013              | 10:47:28:0 | 124,7 | 2,32 | -0,266 | 0,109  | -0,925 | 0,47  | 5,67  |
| 03/08/2013              | 10:47:29:0 | 125,5 | 0    | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     |
| 03/08/2013              | 10:47:30:0 | 125,9 | 0    | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     |
| 03/08/2013              | 10:47:31:0 | 125,7 | 0    | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     |
| 03/08/2013              | 10:47:32:0 | 125,9 | 0    | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     |
| 03/08/2013              | 10:47:33:0 | 126   | 0    | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     |
| 03/08/2013              | 10:47:34:0 | 126   | 0    | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     |
| 03/08/2013              | 10:47:35:0 | 124,7 | 3,39 | -0,382 | 0,179  | -0,905 | 2,57  | 4,61  |
| 03/08/2013              | 10:47:36:0 | 124,1 | 5,06 | -0,591 | 0,216  | -0,939 | 4,89  | 5,38  |
| 03/08/2013              | 10:47:37:0 | 123,8 | 5,59 | -0,656 | 0,226  | -0,945 | 5,54  | 5,65  |
| 03/08/2013              | 10:47:38:0 | 125,9 | 0    | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     |
| 03/08/2013              | 10:47:39:0 | 125,8 | 0    | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     |
| 03/08/2013              | 10:47:40:0 | 125,8 | 0    | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     |
| 03/08/2013              | 10:47:41:0 | 126   | 0    | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     |
| 03/08/2013              | 10:47:42:0 | 125,7 | 0    | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     |
| 03/08/2013              | 10:47:43:0 | 125,8 | 0    | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     |

**Fonte: Autoria Própria**

Em função das características da demanda apresentados no Gráfico 2 e na Tabela 3, formado por pulsos, observa-se que o equipamento indutivo não aplica, para as potências configuráveis 1 a 4, uma potência constante sobre a carga. Nesses níveis, são aplicados apenas pulsos, que variam a amplitude e o tempo em função da potência de aquecimento desejada. Para as potências 5 e 6, a potência aplicada à carga é constante. Dessa forma, para fins de comparação foi calculada uma demanda média dos níveis 1 a 4, considerando, para isso, um período de 10s. A potência média, para cada nível é mostrada no Gráfico 3. Os valores de fator de potência mostrados na Tabela 3, maiores que 0,9, mostram que o equipamento de aquecimento indutivo já possui internamente circuitos para correção do fator de potência.



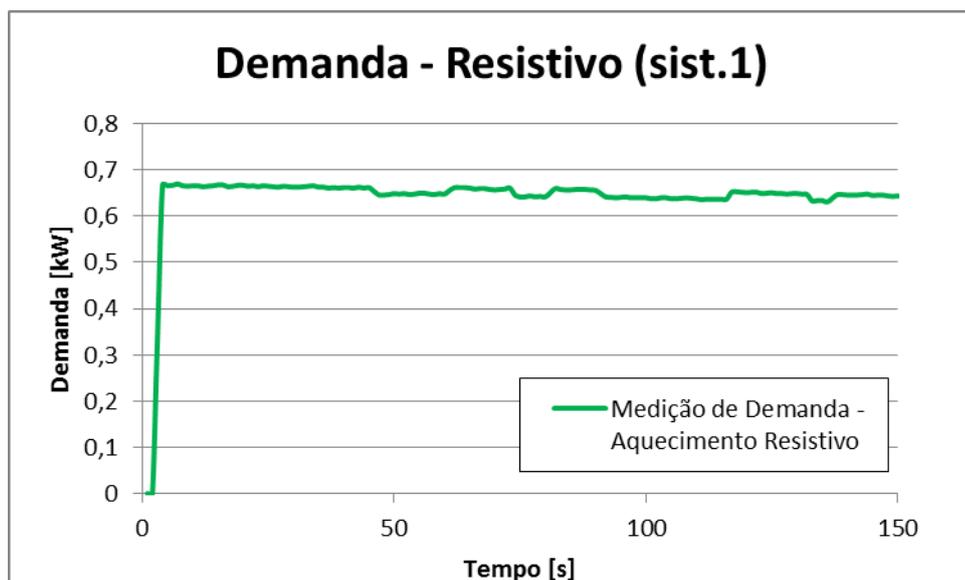
**Gráfico 3 - Demanda de Potência – Sistema de Indução**  
Fonte: Autoria Própria

#### 4.1.2 Aquecimento Resistivo: Resultados

A seguir são apresentados os resultados para os dois sistemas resistivos.

##### 4.1.2.1 Sistema 1 (resistência acoplada à tubulação)

A demanda verificada na bancada do sistema 1 de aquecimento resistivo é mostrada no Gráfico 4:



**Gráfico 4 - Demanda de Potência – Sistema Resistivo 1**  
Fonte: Autoria Própria

O Gráfico 4 apresenta os valores obtidos com a medição do sistema resistivo 1, que possui uma resistência acoplada à tubulação de passagem da água. Na Tabela 4 é mostrado um trecho da medição desse sistema, obtido com o equipamento analisador de energia.

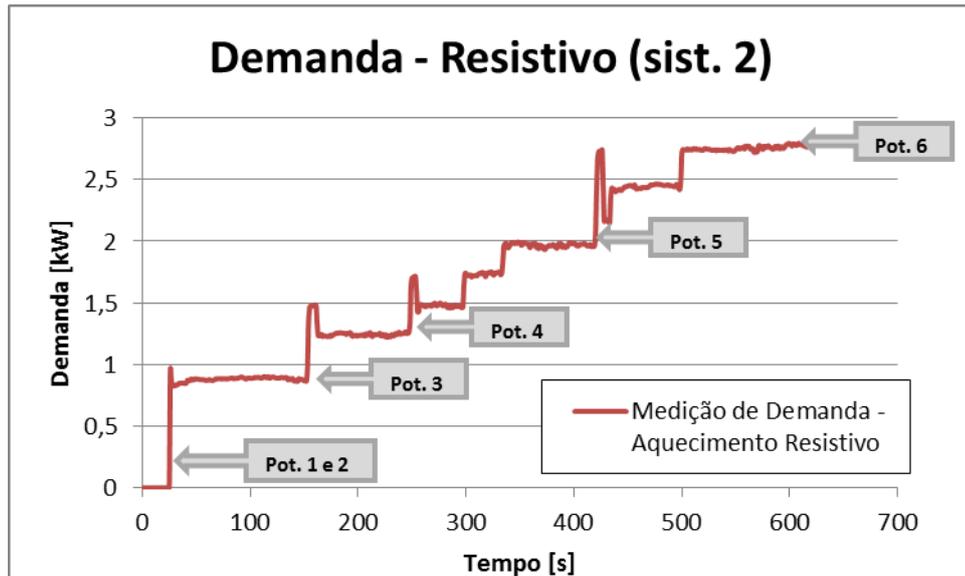
**Tabela 4 - Trecho do arquivo de medição do Sistema Resistivo 1**

| Total de Registros:744  |             |       |      |       |        |      |       |       |
|-------------------------|-------------|-------|------|-------|--------|------|-------|-------|
| Identificacao : 0000006 |             |       |      |       |        |      |       |       |
| SN: 3011426             |             |       |      |       |        |      |       |       |
| Data                    | Hora        | V_1   | I_1  | kW_1  | kVAr_1 | FP_1 | Imin1 | Imax1 |
| 07/09/2013              | 10:29:47:00 | 125,7 | 5,28 | 0,666 | -0,002 | -1   | 5,28  | 5,3   |
| 07/09/2013              | 10:29:48:00 | 125,8 | 5,29 | 0,667 | -0,002 | -1   | 5,29  | 5,29  |
| 07/09/2013              | 10:29:49:00 | 126   | 5,3  | 0,67  | -0,002 | -1   | 5,28  | 5,31  |
| 07/09/2013              | 10:29:50:00 | 125,8 | 5,29 | 0,666 | -0,002 | -1   | 5,28  | 5,3   |
| 07/09/2013              | 10:29:51:00 | 125,7 | 5,28 | 0,665 | -0,002 | -1   | 5,28  | 5,29  |
| 07/09/2013              | 10:29:52:00 | 125,7 | 5,29 | 0,666 | -0,002 | -1   | 5,28  | 5,3   |
| 07/09/2013              | 10:29:53:00 | 125,8 | 5,28 | 0,666 | -0,002 | -1   | 5,27  | 5,3   |
| 07/09/2013              | 10:29:54:00 | 125,6 | 5,28 | 0,664 | -0,002 | -1   | 5,27  | 5,28  |
| 07/09/2013              | 10:29:55:00 | 125,7 | 5,28 | 0,665 | -0,002 | -1   | 5,27  | 5,28  |
| 07/09/2013              | 10:29:56:00 | 125,9 | 5,28 | 0,666 | -0,002 | -1   | 5,28  | 5,29  |
| 07/09/2013              | 10:29:57:00 | 126   | 5,29 | 0,668 | -0,002 | -1   | 5,29  | 5,3   |
| 07/09/2013              | 10:29:58:00 | 126   | 5,29 | 0,668 | -0,002 | -1   | 5,28  | 5,3   |
| 07/09/2013              | 10:29:59:00 | 125,7 | 5,27 | 0,664 | -0,002 | -1   | 5,27  | 5,28  |
| 07/09/2013              | 10:30:00:00 | 125,7 | 5,27 | 0,665 | -0,002 | -1   | 5,27  | 5,28  |
| 07/09/2013              | 10:30:01:00 | 125,9 | 5,28 | 0,667 | -0,002 | -1   | 5,27  | 5,29  |
| 07/09/2013              | 10:30:02:00 | 125,9 | 5,29 | 0,667 | -0,003 | -1   | 5,28  | 5,3   |
| 07/09/2013              | 10:30:03:00 | 125,8 | 5,27 | 0,665 | -0,002 | -1   | 5,27  | 5,29  |
| 07/09/2013              | 10:30:04:00 | 125,8 | 5,28 | 0,666 | -0,002 | -1   | 5,27  | 5,28  |
| 07/09/2013              | 10:30:05:00 | 125,7 | 5,27 | 0,664 | -0,002 | -1   | 5,27  | 5,28  |
| 07/09/2013              | 10:30:06:00 | 125,9 | 5,28 | 0,666 | -0,002 | -1   | 5,27  | 5,29  |

**Fonte: Autoria Própria**

#### 4.1.2.2 Sistema 2 (chuveiro elétrico)

Da mesma forma que o sistema indutivo, para o sistema 2 com aquecimento resistivo, foram registradas as demandas para cada nível de potência analisado:



**Gráfico 5 - Demanda de Potência – Sistema Resistivo 2**

Fonte: Autoria Própria

O Gráfico 5 apresenta os valores obtidos com a medição do sistema resistivo 2, que possui um chuveiro com controle eletrônico. Na Tabela 5 é mostrado um trecho da medição desse sistema, obtido com o equipamento analisador de energia. Embora a resistência, quando analisada isoladamente possui fator de potência igual a 1, na análise do equipamento com o sistema de controle eletrônico os valores de fator de potência variam conforme a potência aplicada à carga. Isso se deve em função da forma como a tensão é aplicada à resistência, conforme mostrado na Figura 4 - Chuveiro Eletrônico: variação de Potência na Carga.

**Tabela 5 - Trecho do arquivo de medição do Sistema Resistivo 2**

|                          |             |       |       |        |        |       |       |       |
|--------------------------|-------------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Total de Registros:1278  |             |       |       |        |        |       |       |       |
| Identificacao: : 0000006 |             |       |       |        |        |       |       |       |
| SN: 3011426              |             |       |       |        |        |       |       |       |
| Data                     | Hora        | V_1   | I_1   | kW_1   | kVAr_1 | FP_1  | Imin1 | Imax1 |
| 03/08/2013               | 20:02:00:00 | 218   | 15,46 | -1,94  | -2,757 | 0,575 | 15,36 | 15,47 |
| 03/08/2013               | 20:02:01:00 | 218,2 | 15,55 | -1,961 | -2,772 | 0,577 | 15,44 | 15,56 |
| 03/08/2013               | 20:02:02:00 | 218,4 | 15,57 | -1,97  | -2,778 | 0,578 | 15,49 | 15,59 |
| 03/08/2013               | 20:02:03:00 | 218   | 15,48 | -1,946 | -2,76  | 0,576 | 15,43 | 15,53 |
| 03/08/2013               | 20:02:04:00 | 218,3 | 15,54 | -1,96  | -2,771 | 0,577 | 15,51 | 15,57 |
| 03/08/2013               | 20:02:05:00 | 217,8 | 15,45 | -1,939 | -2,755 | 0,576 | 15,4  | 15,51 |
| 03/08/2013               | 20:02:06:00 | 217,8 | 15,43 | -1,932 | -2,752 | 0,575 | 15,42 | 15,45 |

Fonte: Autoria Própria

## 4.2 DADOS OBTIDOS

A seguir são apresentados os dados obtidos nos experimentos.

### 4.2.1 Ensaio 1

Os resultados obtidos através das medições realizados com os dispositivos indutivo e resistivo (sistema 1 – resistência com serpentina) são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6 - Ensaio 1: Resultados Obtidos**

| <b>Sistema</b>   | <b>Indutivo</b> | <b>Resistivo</b> |
|--|-----------------|------------------|
| Configuração de Potência do Sistema<br>Indutivo: 1 (mínimo) a 6 (máximo) | 5               | -                |
| Vazão da água [l/min]  | 0,4 l/min       | 0,4 l/min        |
| Temperatura de entrada da água[°C]                                       | 16,4            | 15,5             |
| Temperatura de saída da água[°C]   | 27,6            | 30,1             |
| Variação de Temperatura [°C]   | 11,2            | 14,6             |
| Demanda de Potência Ativa [W]  | 668             | 651              |

**Fonte: Autoria Própria**

### 4.2.2 Ensaio 2

Os resultados obtidos através das medições realizados com os dispositivos indutivo e resistivo (sistema 2 – chuveiro elétrico) são apresentados nas Tabelas 7 a 12. Cada tabela representa um dos seis níveis de potência ensaiado.

**Tabela 7 - Ensaio 2: Resultados Obtidos: Potência 1**

| <b>Sistema</b>   | <b>Indutivo</b> | <b>Resistivo</b> |
|--|-----------------|------------------|
| Configuração de Potência do Sistema<br>Indutivo: 1 (mínimo) a 6 (máximo) | 1               | *                |
| Vazão da água [l/min]  | 0,4 l/min       | *                |
| Temperatura de entrada da água[°C]                                       | 16,4            | *                |
| Temperatura de saída da água[°C]   | 17,6            | *                |
| Varição de Temperatura [°C]  | 1,2             | *                |
| Demanda Média de Potência Ativa [W]                                      | 79              | *                |

Fonte: Autoria Própria

**Tabela 8 - Ensaio 2: Resultados Obtidos: Potência 2**

| <b>Sistema</b>   | <b>Indutivo</b> | <b>Resistivo</b> |
|--|-----------------|------------------|
| Configuração de Potência do Sistema<br>Indutivo: 1 (mínimo) a 6 (máximo) | 2               | *                |
| Vazão da água [l/min]  | 0,4 l/min       | *                |
| Temperatura de entrada da água[°C]                                       | 16,4            | *                |
| Temperatura de saída da água[°C]   | 19,3            | *                |
| Varição de Temperatura [°C]  | 2,9             | *                |
| Demanda de Potência Ativa [W]  | 175             | *                |

Fonte: Autoria Própria

**Tabela 9 - Ensaio 2: Resultados Obtidos: Potência 3**

| <b>Sistema</b>   | <b>Indutivo</b> | <b>Resistivo</b> |
|--|-----------------|------------------|
| Configuração de Potência do Sistema<br>Indutivo: 1 (mínimo) a 6 (máximo) | 3               | -                |
| Vazão da água [l/min]  | 0,4 l/min       | 1,6 l/min        |
| Temperatura de entrada da água[°C]                                       | 16,4            | 17,2             |
| Temperatura de saída da água[°C]   | 20,4            | 21,8             |
| Varição de Temperatura [°C]  | 4               | 4,6              |
| Demanda de Potência Ativa [W]  | 312             | 879              |

Fonte: Autoria Própria

Tabela 10 - Ensaio 2: Resultados Obtidos: Potência 4

| Sistema  | Indutivo  | Resistivo |
|--|-----------|-----------|
| Configuração de Potência do Sistema<br>Indutivo: 1 (mínimo) a 6 (máximo) | 4         | -         |
| Vazão da água [l/min]  | 0,4 l/min | 1,6 l/min |
| Temperatura de entrada da água[°C]                                       | 16,4      | 17,2      |
| Temperatura de saída da água[°C]   | 22,9      | 23,7      |
| Variação de Temperatura [°C]   | 6,5       | 6,5       |
| Demanda de Potência Ativa [W]  | 510       | 1261      |

Fonte: Autoria Própria

Tabela 11 - Ensaio 2: Resultados Obtidos: Potência 5

| Sistema  | Indutivo  | Resistivo |
|--|-----------|-----------|
| Configuração de Potência do Sistema<br>Indutivo: 1 (mínimo) a 6 (máximo) | 5         | -         |
| Vazão da água [l/min]  | 0,4 l/min | 1,6 l/min |
| Temperatura de entrada da água[°C]                                       | 16,4      | 17,2      |
| Temperatura de saída da água[°C]   | 27,6      | 28,6      |
| Variação de Temperatura [°C]   | 11,2      | 11,4      |
| Demanda de Potência Ativa [W]  | 668       | 1969      |

Fonte: Autoria Própria

Tabela 12 - Ensaio 2: Resultados Obtidos: Potência 6

| Sistema  | Indutivo  | Resistivo |
|--|-----------|-----------|
| Configuração de Potência do Sistema<br>Indutivo: 1 (mínimo) a 6 (máximo) | 6         | -         |
| Vazão da água [l/min]  | 0,4 l/min | 1,6 l/min |
| Temperatura de entrada da água[°C]                                       | 16,4      | 17,2      |
| Temperatura de saída da água[°C]   | 33,4      | 34,4      |
| Variação de Temperatura [°C]   | 17        | 17,2      |
| Demanda de Potência Ativa [W]  | 879       | 2755      |

Fonte: Autoria Própria

### 4.3 COMPARATIVO DOS RESULTADOS

A seguir é apresentado o comparativo dos resultados obtidos nos experimentos.

#### 4.3.1 TEMPERATURA E DEMANDA DE POTÊNCIA – ENSAIO 1

Na Tabela 13 é mostrado um resumo das medições realizadas para o Ensaio 1.

**Tabela 13 - Resultados Obtidos: Resumo da Ensaio 1**

| <b>Indutivo</b>              |                   | <b>Resistivo (Sistema 1)</b> |             |
|------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------|
| <b>Vazão = 0,4l/min</b>      |                   | <b>Vazão = 0,4 l/min</b>     |             |
| Variação de Temperatura [°C] | Demanda Média [W] | Variação de Temperatura [°C] | Demanda [W] |
| 11,2                         | 668               | 14,6                         | 651*        |

**Fonte: Autoria Própria**

Os níveis de demanda de potência e o incremento de temperatura observados no experimento no experimento 1 são demonstrados no Gráfico 6 e no Gráfico 7, respectivamente. Embora a demanda média do sistema resistivo tenha apresentado um valor ligeiramente inferior ao do sistema indutivo, o sistema resistivo apresentou um incremento de temperatura superior ao sistema indutivo.

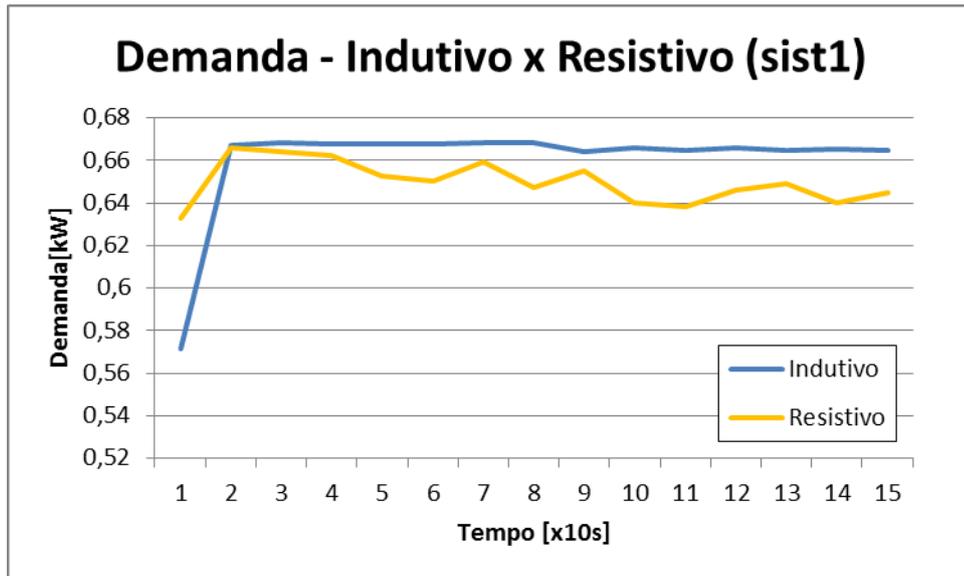


Gráfico 6 - Comparativo de Demanda (Indutivo x Resistivo – sistema 1)  
Fonte: Autoria Própria

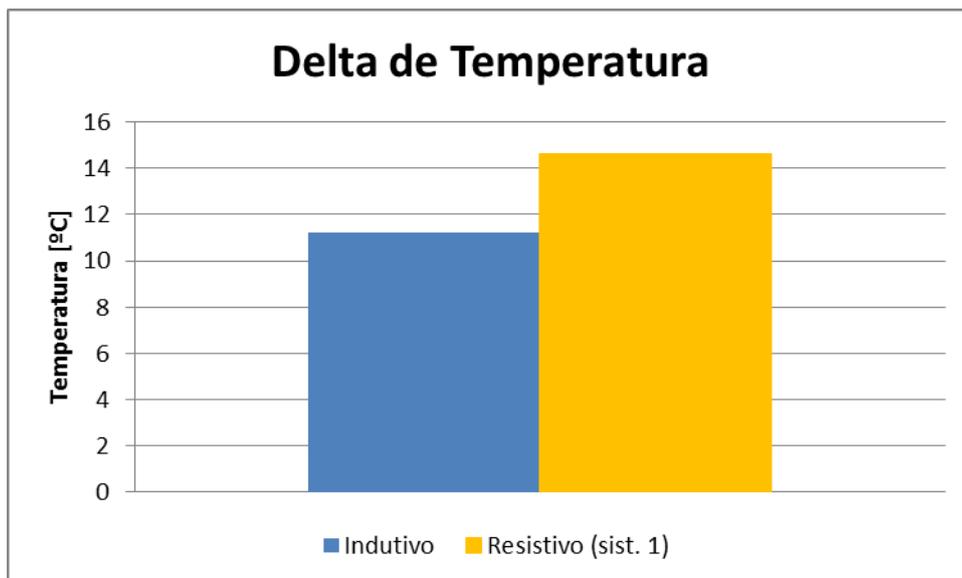


Gráfico 7 - Delta de Temperatura (Indutivo x Resistivo – sistema 1)  
Fonte: Autoria Própria

#### 4.3.2 CONSUMO DE ENERGIA E DEMANDA DE POTÊNCIA – ENSAIO 2

Na Tabela 14 é apresentado um resumo das medições realizadas para cada nível de potência e temperatura do Ensaio 2:

Tabela 14 - Resultados Obtidos: Resumo do Ensaio 2

|   | Indutivo                     |                   | Resistivo (Sistema 2)        |                   |
|---|------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|
|   | Vazão = 0,4l/min             |                   | Vazão = 1,6 l/min            |                   |
|   | Variação de Temperatura [°C] | Demanda Média [W] | Variação de Temperatura [°C] | Demanda Média [W] |
| 1 | 1,2                          | 79                | *                            | *                 |
| 2 | 2,9                          | 175               | *                            | *                 |
| 3 | 4                            | 312               | 4,6                          | 879               |
| 4 | 6,5                          | 510               | 6,5                          | 1261              |
| 5 | 11,2                         | 668               | 11,4                         | 1969              |
| 6 | 17                           | 879               | 17,2                         | 2755              |

Fonte: Autoria Própria

Em virtude das medições terem sido realizadas com vazões diferentes, torna-se necessário realizar ajustes para efetuar as devidas comparações. Para esses ajustes, foi considerado que o consumo de energia é linear com a quantidade de água a ser aquecida. A equação fundamental da calorimetria ( 4 ), mostra que o calor (Q) fornecido à água é diretamente dependente da quantidade de água a ser aquecida (m: massa). ]

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta T \quad ( 4 )$$

Fonte: KNIGHT, 2009, p 534

Para uma determinada variação de temperatura ( $\Delta T$ ), o produto C (calor específico da água = 1cal/g.°C) pelo  $\Delta T$  (variação de temperatura), torna-se uma constante, tornando o Q diretamente proporcional à massa. O Q, cuja unidade é caloria (cal), pode ser convertido diretamente para kWh através da constante abaixo:

$$1 \text{ cal} = 1,163 \cdot 10^{-6} \text{ kWh} \quad ( 5 )$$

Fonte: ANEEL, 2008

Dessa forma, desconsiderando-se as perdas nos equipamentos indutivo e resistivo, para se obter uma aproximação para a demanda e o consumo, os valores foram ajustados para uma vazão constante de 1l/min, da seguinte forma:

- Sistema Indutivo, cuja vazão era de 0,4l/min: dividiu-se a demanda por 0,4.
- Sistema Resistivo, cuja vazão era de 1,6l/min: dividiu-se a demanda por 1,6.

Da mesma forma, procedeu-se para avaliar uma vazão de 3l/min.

Também é importante ressaltar que nessa avaliação há diferentes condições de transferência de calor em ambos os sistemas. No sistema indutivo, o aquecimento da água se dá através do aquecimento do tubo pelo qual a água passa. No sistema resistivo com chuveiro, o elemento aquecedor está completamente imerso na água, fazendo com que haja um aproveitamento diferente do calor gerado. A diferença na efetividade da transferência de calor em cada sistema não foi considerada nesse estudo.

#### 4.3.2.1 Resultados para vazão = 1l/min

Com a vazão ajustada para a vazão de 1l/min, na Tabela 15 são apresentados os resultados.

**Tabela 15 – Medições de demanda e consumo de energia (vazão = 1l/min)**

| Indutivo                      |                    |                           | Resistivo                    |                    |                           |
|-------------------------------|--------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Vazão = ajustada para 1 l/min |                    |                           |                              |                    |                           |
| Variação de Temperatura [°C]  | Demanda Média [kW] | Consumo (em 10 min) [kWh] | Variação de Temperatura [°C] | Demanda Média [kW] | Consumo (em 10 min) [kWh] |
| 1,2                           | 0,198              | 0,03                      |                              |                    |                           |
| 2,9                           | 0,438              | 0,07                      |                              |                    |                           |
| 4,0                           | 0,780              | 0,13                      | 4,6                          | 0,549              | 0,09                      |
| 6,5                           | 1,275              | 0,21                      | 6,5                          | 0,788              | 0,13                      |
| 11,2                          | 1,670              | 0,28                      | 11,4                         | 1,231              | 0,21                      |
| 17,0                          | 2,198              | 0,37                      | 17,2                         | 1,722              | 0,29                      |

Fonte: Autoria Própria

No Gráfico 8, é possível observar o comportamento da demanda de potência para as duas tecnologias – indutiva e resistiva, ambas para a vazão de 1l/min. No

Gráfico 9 é apresentado o consumo estimado de cada sistema durante um uso de 10 minutos. Tanto na demanda quanto no consumo, o aquecimento indutivo apresentou a demanda de potência e o consumo maior que o resistivo, para o mesmo incremento de temperatura.

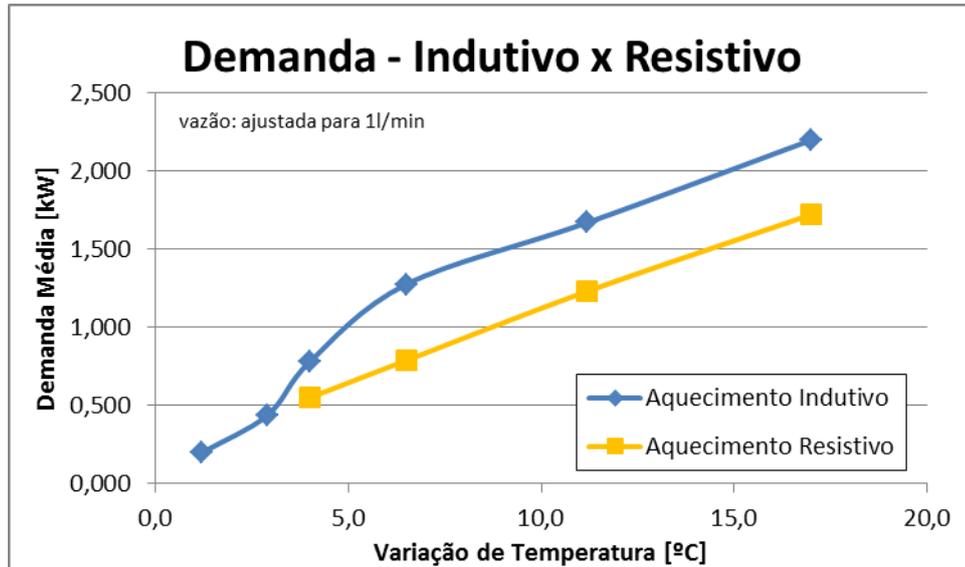


Gráfico 8 - Comparativo de Demanda, para vazão de 1l/min  
Fonte: Autoria Própria

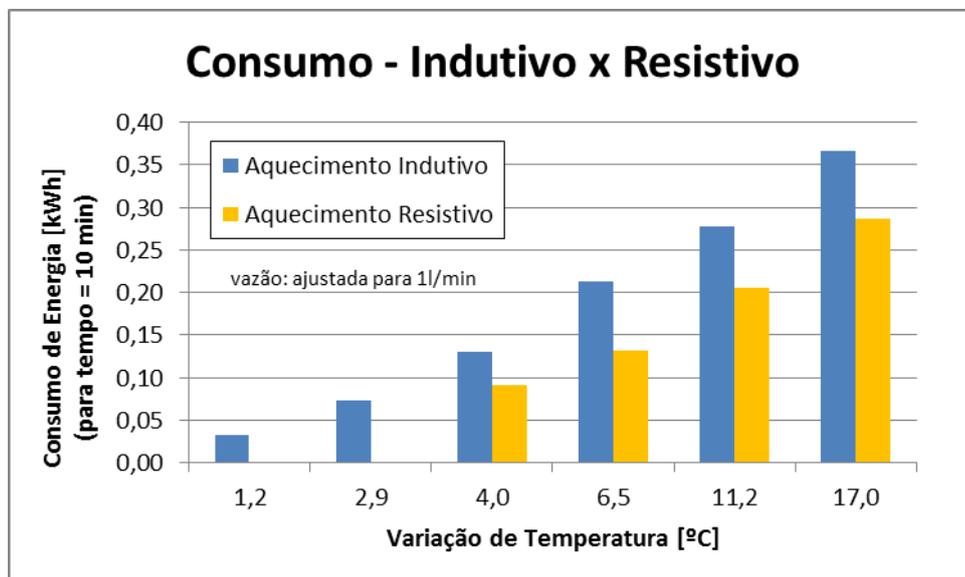


Gráfico 9 - Comparativo de Consumo, para vazão de 1l/min  
Fonte: Autoria Própria

#### 4.3.2.2 Resultados para vazão = 3l/min

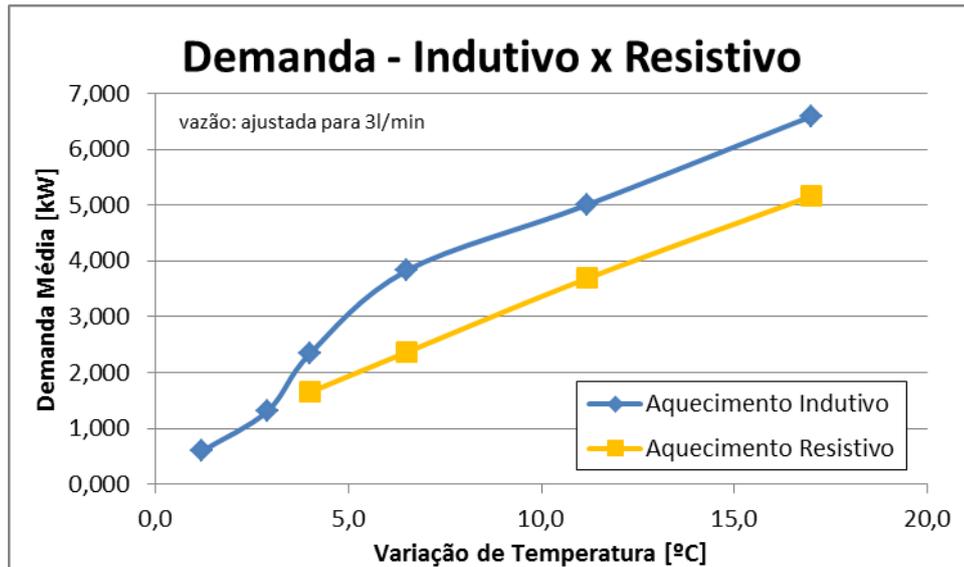
Com a vazão ajustada para a vazão de 1l/min, na Tabela 16 são apresentados os resultados.

**Tabela 16 – Medições de demanda e consumo de energia (vazão = 3l/min)**

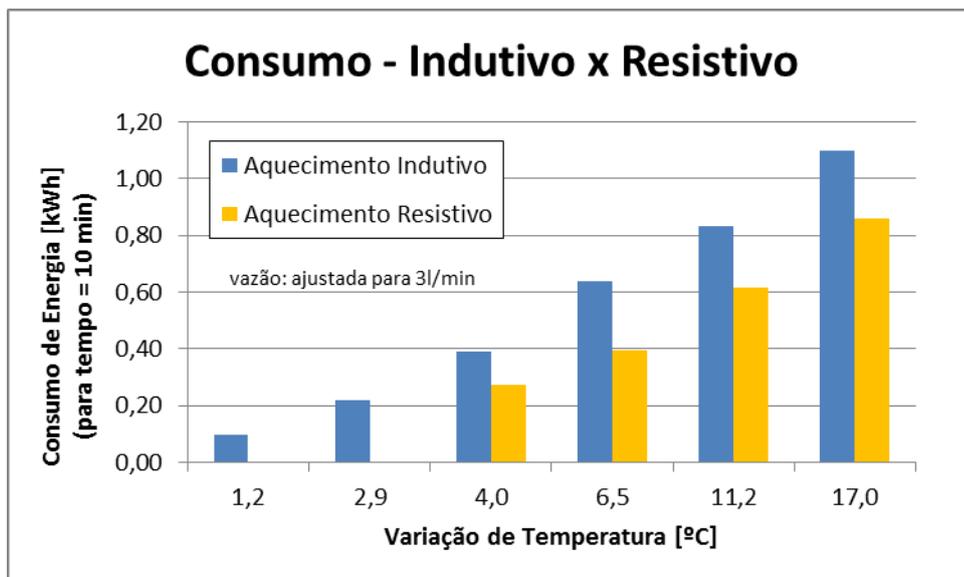
| Indutivo                      |                    |                           | Resistivo                    |                    |                           |
|-------------------------------|--------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Vazão = ajustada para 3 l/min |                    |                           |                              |                    |                           |
| Variação de Temperatura [°C]  | Demanda Média [kW] | Consumo (em 10 min) [kWh] | Variação de Temperatura [°C] | Demanda Média [kW] | Consumo (em 10 min) [kWh] |
| 1,2                           | 0,593              | 0,10                      |                              |                    |                           |
| 2,9                           | 1,313              | 0,22                      |                              |                    |                           |
| 4,0                           | 2,340              | 0,39                      | 4,6                          | 1,648              | 0,27                      |
| 6,5                           | 3,825              | 0,64                      | 6,5                          | 2,364              | 0,39                      |
| 11,2                          | 5,010              | 0,84                      | 11,4                         | 3,692              | 0,62                      |
| 17,0                          | 6,593              | 1,10                      | 17,2                         | 5,166              | 0,86                      |

Fonte: Autoria Própria

Com base nos dados apresentados na Tabela 16, no Gráfico 10 é possível observar o comportamento da demanda de potência para as duas tecnologias – indutiva e resistiva, ambas para a vazão de 3l/min. No Gráfico 11 é apresentado o consumo estimado de cada sistema durante um uso de 10 minutos. Assim como na vazão de 1l/min, tanto na demanda quanto no consumo, o aquecimento indutivo apresentou a demanda de potência e o consumo maior que o resistivo, para o mesmo incremento de temperatura.



**Gráfico 10 - Comparativo de Demanda, para vazão de 3l/min**  
 Fonte: Autoria Própria



**Gráfico 11 - Comparativo de Consumo, para vazão de 3l/min**  
 Fonte: Autoria Própria

## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 CONCLUSÕES GERAIS

O sistema proposto, exclusivamente na configuração apresentada e que utiliza o aquecimento indutivo como forma para aquecer a água num sistema de passagem, mostrou-se viável tecnicamente para atingir um dos objetivos, que era o de produzir a água aquecida. No entanto, da forma proposta, não se mostrou atrativo no consumo de energia.

Nas duas avaliações realizadas, tanto fixando a potência e verificando o delta de temperatura quanto fixando o delta de temperatura e observando a potência, o sistema indutivo se mostrou ser inferior ao sistema resistivo.

Para uma mesma potência, o sistema indutivo apresentou um incremento de temperatura inferior ao alcançado pelo sistema com resistência e, para uma mesma vazão e variação de temperatura, o sistema de aquecimento por indução apresentou uma demanda de potência e um consumo de energia elétrica ligeiramente maior do que o sistema com elemento resistivo instalado no chuveiro.

Dessa forma, na configuração e materiais propostos, o aquecimento resistivo se mostrou mais eficiente que o indutivo, em função de proporcionar maior aquecimento com menor consumo de energia elétrica e demanda de potência.

Mesmo com o resultado obtido, o presente tema pode ser considerado como um assunto estratégico. A pesquisa e o desenvolvimento de sistemas mais elaborados, que utilizem materiais estudados e desenvolvidos especialmente para aplicação em sistemas de indução, aliado à geometria dos componentes mecânicos e também a sistemas com eletrônica de potência, poderão apresentar resultados mais atrativos para o aquecimento de água com tecnologia de indução eletromagnética. Dessa forma, na lista de sugestão de trabalhos futuros, observa-se que continua sendo importante a busca por sistemas e tecnologias que possam substituir, com facilidade, os chuveiros elétricos, e apresentem ganhos em relação à redução de demanda e economia de energia.

## 5.2 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

- Desenvolver bobina específica, para aplicá-la dentro da carcaça de um chuveiro;
- Estudar materiais ou ligas metálicas que possuem maior capacidade de aquecimento quando submetidos a um campo eletromagnético e resultem em maior eficiência do sistema indutivo;
- Análise de fluídos através de elementos finitos de forma a identificar formas de escoamento da água que melhor aproveitem o aquecimento gerado no tubo;
- Identificar formas e dimensões de tubos que tenham melhor aproveitamento de energia;
- Impacto do Fator de Potência, influenciado por dispositivos eletrônicos e indutivos, na rede elétrica do consumidor e da concessionária;
- Estudo termodinâmico de transferência de calor para cada tecnologia;
- Estudo dos impactos do campo eletromagnético produzido por um chuveiro indutivo no usuário e como controlá-los;
- Utilização de equipamentos baseados em eletrônica de potência para melhorar o desempenho do elemento indutivo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHÃO, Carla da Costa Lopes e SCHAEFFER, Roberto. **Energia e renda no Brasil: um retrato do consumo no setor residencial**. Anais do X Congresso Brasileiro de Energia. Rio de Janeiro: X CBE 2004. 2403-2417p.

ADENE – Agência para a Energia, **Guia da Eficiência Energética**, Lisboa, Portugal, 2010. Disponível em: <[http://www.adene.pt/pt-pt/Publicacoes/Documents/guia\\_eficiencia\\_energetica.pdf](http://www.adene.pt/pt-pt/Publicacoes/Documents/guia_eficiencia_energetica.pdf)>. Acesso em 08/09/2013

ALBA, Mariano C, **Preestudio para el desarrollo de un equipo de calentamiento por inducción**, Universidad Autonoma de Madrid, Madrid

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (b). **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE**. Brasília - DF: ANEEL, 2013.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, **Atlas de Energia Elétrica** – 3º ed., Brasília - DF: ANEEL, 2008 Disponível em <[http://www.aneel.gov.br/visualizar\\_texto.cfm?idtxt=1689](http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689)> Acesso em 09/08/2013

**Aquecimento de Água por Indução**. Disponível em <[http://www.ehow.com.br/aquecimento-agua-inducao-sobre\\_17990](http://www.ehow.com.br/aquecimento-agua-inducao-sobre_17990)>. Acesso em 24/06/2013

BRAGA, Newton C, **Chuveiro Eletrônico**. Disponível em <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/artigos/54-dicas/3206-art435.html>>. Acesso em 18/08/2013

CALLEBAUT, Jean, **Power Quality & Utilization Guide - Section 7: Energy Efficiency**, European Copper Institute & Laborelec,[SI] 2007

**Chuveiro Elétrico**. Disponível em <[http://chuveiro-eletrico.info/mos/view/Origem\\_dos\\_chuveiros\\_eletricos](http://chuveiro-eletrico.info/mos/view/Origem_dos_chuveiros_eletricos)>. Acesso em 26/07/2013

COELHO, Gustavo M; BRISSON, Evandro R. **Controle de temperatura de um chuveiro com aquecimento solar e elétrico**, Brasil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

SILVA, Ângela Cristina Moreira. **Análise condicionada da demanda de energia no setor residencial brasileiro**. Rio de Janeiro: UFRJ; COPPE, 2000

DADALTO, Elder Antônio, **Utilização da energia solar para aquecimento de água pela população de baixa renda domiciliar em habitações populares**, Monografia, 106p, Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2008. Disponível em <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Monografia%20Elder%20Antonio%20Dadalto.pdf>> Acesso em 07/09/2013.

ELECTROLUX, **Cooktop Celebrate portátil de indução 1 queimador (ICP30)** , Disponível em <<http://www.electrolux.com.br/Products/Cozinha/Cooktops/ICP30>> Acesso em 16/08/2013

ELETROBRÁS/PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, 2007 **Resultados do PROCEL**. Rio de Janeiro, 2008.

ENGENHOCAS,: **Como funciona o fogão por indução**. Disponível em: <<http://blogengenhocas.blogspot.com.br/2009/03/como-funciona-o-fogao-por-inducao.html>>. Acesso em 18/08/2013.

E-POWER, **Redutor de Consumo para Chuveiros Elétricos – ePower**, Catálogo, São Paulo, 2013

GILI, L, et al, **Chuveiros Eletrônicos: Conhecer para ter consciência – COBENGE – XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – Belém-PA, 2012.**

GONZÁLES, Winder, **Diseño y construcción de bobina de calentamiento por inducción para fundición de titanio**.2008. 55p. Proyecto de Grado, Universidad Simon Bolívar, Sartanejas, 2008

GREENPEACE, **[R]evolução Energética – A caminho do desenvolvimento limpo**, [S] 2010. Disponível em <<http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2010/11/revolucaoenergeticad eslimpo.PDF>>. Acesso em 08/09/2013.

**História do Chuveiro**. Disponível em <<http://hid0141.blogspot.com.br/2009/11/historia-do-chuveiro.html>>. Acesso em 26/07/2013

IMS Power Quality, **PowerNET P-600**, Disponível em <<http://www.ims.ind.br/br/produtos/powernet-p-600/>> Acesso em 02/09/2013

KNIGHT, Randall D, **Física: Uma Abordagem Estratégica** - Vol 2, São Paulo: Ed Bookman, 2009

MARQUES, Maurício N, **Aquecedores De Água: Tipos, Características D Projeto Básico.**, 2006, 60p, Projeto de Graduação da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória – ES, 2006.

MME – Ministério de Minas e Energia, **Plano Nacional De Eficiência Energética**, versão 18-10-11, Brasília, 2011, Disponível em <[http://www.orcamentofederal.gov.br/projeto-esplanada-sustentavel/pasta-para-arquivar-dados-do-pes/Plano\\_Nacional\\_de\\_Eficiencia\\_Energetica.pdf](http://www.orcamentofederal.gov.br/projeto-esplanada-sustentavel/pasta-para-arquivar-dados-do-pes/Plano_Nacional_de_Eficiencia_Energetica.pdf)>. Acesso em 09/09/2013

**Mundo Estranho : Como funciona o chuveiro elétrico?** Disponível em: <<http://mundoestranho.abril.com.br/materia/como-funciona-o-chuveiro-eletrico>>. Acesso em 26/07/2013

REWATT, **A tecnologia Rewatt**, Disponível em <<http://www.rewatt.com.br/tecnologia.html>> Acesso em 02/09/2013

SANTOS, Antonio M, **Sistema de aquecimento de água por indução eletromagnética**, 1995. Disponível em <<http://www.patentesonline.com.br/sistema-de-aquecimento-de-gua-por-indu-o-eletromagn-tica-123645.html>>. Acesso em 14/04/2013.

SANTOS, José W, **Construção do FMEA para um chuveiro elétrico**, Universidade Federal De Sergipe, São Cristóvão–SE, 2013

SCHMITT, Diego, et al, **Análise de especificação de chuveiro elétrico**, Porto Alegre: Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, 2007

SCHNEIDER, Guilherme L, **Sistema de Aquecimento de Água por Indução Eletromagnética**, 2008, 74p, Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade Luterana do Brasil – ULBRA. Canoas-RS, 2008

**Sobre o aquecimento indutivo**, Disponível em <<http://pt.ambrell.com/sobre-a-inducao.php>>, Acesso em 24/06/2013

**Termoquímica - Conceitos Gerais**, Disponível em <<http://aprendendoquimicaonline.blogspot.com.br/2011/05/quimica-termoquimica.html>>, Acesso em 22/08/2013

**THERMOSYSTEM, Ducha Eletrônica ND**, Disponível em <<http://www.thermosystem.com.br/thermosystem-nd>> Acesso em 02/09/2013

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, **Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos**, Curitiba, 2008. Disponível em <[http://www.utfpr.edu.br/curitiba/biblioteca-e-producao-academica/normas-para-elaboracao-de-trabalhos-academicos/normas\\_trabalhos\\_utfpr.pdf/view](http://www.utfpr.edu.br/curitiba/biblioteca-e-producao-academica/normas-para-elaboracao-de-trabalhos-academicos/normas_trabalhos_utfpr.pdf/view)>. Acesso em 29/07/2013

ZOELLNER, Klaus. **A incidência do chuveiro elétrico na geração de água quente nas edificações**.2005. 83p. Dissertação (Mestrado), IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo. São Paulo, 2005.

ANEXO I – Analisador de Energia IMS PowerNet P600

## PowerNET P-600

### Analísador Portátil de Grandezas elétricas

#### Introdução

Desenvolvido para analisar o comportamento de redes elétricas, identifica distúrbios de tensão e corrente. Atende aos padrões solicitados pelo PRODIST da Aneel. Sua versatilidade possibilita levantamentos de curvas de carga, verificação do nível de balanceamento de redes, dimensionamento de bancos de capacitores, leitura de valores de harmônicos na rede, cálculo de custo de perdas em transformadores e alimentadores, cálculo do custo de energia por item fabricado, medição setorial e rateio de custos, diagnosticar Sistemas de Potência entre outras funções. Seu alto índice de proteção permite sua exposição ao tempo (chuva, sol, poeira...).



Foto Ilustrativa

#### 1. Aplicações típicas

- ✓ Análises e medições de energia;
- ✓ Atender a resolução 505 da ANEEL;
- ✓ Utilizado pelas concessionárias de energia;
- ✓ Estudos de eficiência energética.

#### 2. Grandezas medidas/registradas

- ✓ Tensão por fase e média (V)
- ✓ Tensões Máximas e Mínimas (V)
- ✓ Corrente por fase e média (A)
- ✓ Correntes Máximas e Mínimas (A)
- ✓ Corrente de Neutro (A)
- ✓ Fator de Potência por fase e médio
- ✓ Fatores de Potência Máximos e Mínimos
- ✓ Consumo Ativo e Reativo trifásico
- ✓ Demanda Ativa e Reativa trifásica
- ✓ Energia Direta e Reversa
- ✓ Potência Ativa Instantânea por fase e média (W)
- ✓ Potência Reativa Instantânea por fase e média (VAR)
- ✓ Potência Aparente Instantânea por fase e média (VA)
- ✓ Frequência da fase 1 (Hz)
- ✓ THD de Tensão (%)
- ✓ THD de Corrente (%)
- ✓ Harmônicas Pares de Tensão (%) até 40º ordem
- ✓ Harmônicas Pares de Corrente (%) até 40º ordem
- ✓ Harmônicas Ímpares de Tensão (%) até 41º ordem
- ✓ Harmônicas Ímpares de Corrente (%) até 41º ordem

### 3. Precisão

|                       |   |
|-----------------------|---|
| 01. Tensão            | $\pm 0,5\%$                               |
| 02. Corrente          | $\pm 0,5\% \pm 1\%$ do sensor de corrente |
| 03. Frequência        | $\pm 0,01$                                |
| 04. Potências         | $\pm 1\% \pm 1\%$ do sensor de corrente   |
| 05. Fator de potência | $\pm 0,5\% \pm 1\%$ do sensor de corrente |

### 4. Características elétricas

|   |                        |
|---|------------------------|
| 01. Alimentação AC                          | 70 a 300 Vac           |
| 02. Alimentação DC                          | Sob consulta           |
| 03. Consumo                                 | 10 VA                  |
| 04. Frequência                              | 50 ou 60 Hz*           |
| 05. Indicação de Sequência de Fase          | Sim                    |
| 06. Medição de corrente com alicate rígido  | 10, 20, 200 (opcional) |
| 07. Medição de Corrente com Sensor Flexível | 1000A ou 3000a*        |
| 08. Medição de Tensão                       | 50 a 500 Vac           |
| 09. Memória de Massa                        | 1MB ou 2MB*            |
| 10. Número de Elementos de Medição          | 2 ou 3                 |
| 11. Tipo de Ligação                         | Delta / Estrela        |

\*Escolher na hora da compra

### 5. Características mecânicas

|                          |  |
|--------------------------|--|
| 01. Dimensões - AxLxP    | 284 x 207 x 120mm  |
| 02. Display              | 4 linhas x 20 colunas (80 caracteres)                                |
| 03. Back-light           | Sim  |
| 04. Grau de Proteção     | IP 659   |
| 05. Material Construtivo | Termoplástico com alta resistência mecânica, antichama e proteção UV |
| 06. Peso                 | 1,8 Kg aproximadamente   |

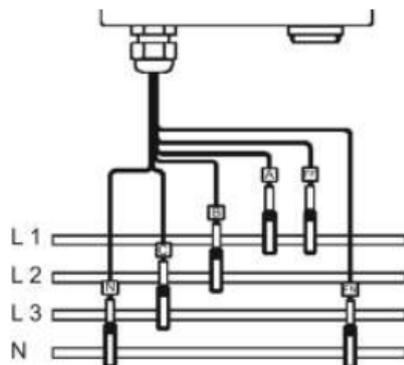
### 6. Comunicação

|                      |                             |
|----------------------|-----------------------------|
| 01. Número de portas | 1 (Virtual Serial Port)     |
| 02. Padrão elétrico  | RS-232 ou USB ou cabo ótico |
| 03. Protocolo        | MODBUS-RTU                  |
| 04. Velocidade       | 9.6 / 19.2 / 38.4           |

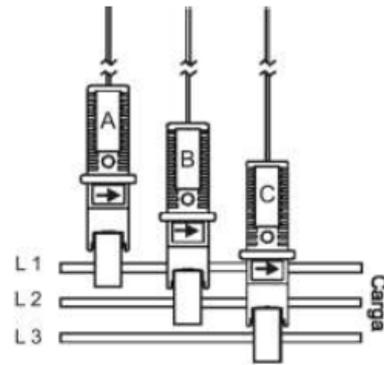
## 7. Parâmetros programáveis

|                                    |                 |
|------------------------------------|-----------------|
| 01. Primário do TP                 | 50 a 250.000V   |
| 02. Secundário do TP               | 90 a 500V       |
| 03. Primário do TC                 | 1 a 5.000A      |
| 04. Secundário do TC               | 1 a 5A          |
| 05. Número de elementos            | 2 ou 3          |
| 06. Intervalo de registros         | 0,25 a 3.600    |
| 07. Tipo de ligação                | Delta/Estrela   |
| 08. Tipo de memória                | Linear/Circular |
| 09. Relógio                        | Data/Horário    |
| 10. Taxa de atualização do display | Sim             |
| 11. Parâmetros de perturbação      | Sim             |
| 12. Parâmetros da ANEEL            | Sim             |
| 13. Endereço de rede               | Sim             |

## 8. Tipo de ligação



*Sistema Trifásico até 500Vca*



*Ligação de corrente*

## 9. Softwares aplicáveis

- ✓ Analisador P600 que acompanha o equipamento;
- ✓ PowerMANAGER
- ✓ PowerNET WEB – Gerenciamento via internet.

## 10. Itens fornecidos com o produto

- ✓ Guia rápido de instalação e operação;
- ✓ Garras Jacaré para as ponteiros de medição de tensão;
- ✓ Sensor de medição de corrente;
- ✓ Cabo de comunicação com o computador (serial DB9);
- ✓ Bolsa para transporte do equipamento e acessórios;
- ✓ Software ANALISADOR P600.

## 11. Acessórios opcionais

- ✓ PowerNET A-030: Conversor RS 232 / USB;
- ✓ Adaptador de TC's (adapta qualquer TC "xxx / 5A" para realizar medições de correntes com o PowerNET P-600).
- ✓ Software PowerNET WEB;
- ✓ CD contendo os documentos técnicos da linha de produtos IMS.

## 12. Normas atendidas

- ✓ IEC 61000-4-7;
- ✓ IEC 61000-4-15.



IMS Soluções em Energia Ltda  
Av. Bernardino Silveira Pastoriza, 720 - Porto Alegre/RS - Brasil  
Fone: +55 51 3382.2300 | Fax: +55 51 3382.2301  
[www.ims.ind.br](http://www.ims.ind.br) | [ims@ims.ind.br](mailto:ims@ims.ind.br)

A IMS dispõe de uma linha completa de multimedidores, transdutores, controladores de demanda, controladores de fator de potência, analisadores portáteis de qualidade da energia e softwares de gerenciamento. As informações contidas neste catálogo têm por objetivo auxiliá-lo na utilização e especificação correta do equipamento. Devido ao constante aperfeiçoamento, a **IMS se reserva no direito de alterar as informações contidas neste material sem aviso prévio.**

ANEXO II – Certificados de Calibração - IMS PowerNet P600



Av. Bernardino Silveira Pastoriza, 720 Sarandi  
 Porto Alegre - RS CEP 91160-310  
 Fone: (51) 3382.2300 Fax: (51) 3382.2301  
 www.ims.ind.br ims@ims.ind.br

## Certificado de Calibração: N° 0027527

Data: 19/10/2012

### Dados do Equipamento Sob Teste

|                     |                    |                     |             |
|---------------------|--------------------|---------------------|-------------|
| Modelo:             | 250-Power Net P600 | Memória:            | 1MB         |
| Número de Série:    | 3011426            | Sensor de Corrente: | RIGIDO 200A |
| Versão do Firmware: | 1,012              | Acionamentos:       | 0           |

### Método Utilizado

Comparação direta com padrão

### Crítérios de Aceitação

|           |      |             |      |
|-----------|------|-------------|------|
| Tensão:   | 0,5% | Potência:   | 2,0% |
| Corrente: | 1,5% | Frequência: | 0,2% |

### Padrão Utilizado

Fluke 5500 - Certificado de Calibração N° E0364 da LABELO PUC-RS

### Condições Ambientais

Temperatura: 23 °C ± 3°C      Umidade Relativa: 55 % ± 10%

### Observação

Os resultados da calibração estão contidos em tabelas anexas, que relacionam os valores indicados pelo instrumento sob teste, com valores obtidos através da comparação com os padrões e as incertezas estimadas da medição (IM).

A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência "k", com graus de liberdade efetivos (Veff) correspondentes a um nível de confiança de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com o "Guia para Expressão da Incerteza de Medição", Terceira Edição Brasileira.

Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à calibração nas condições específicas, não sendo extensivo a quaisquer lotes.

A coluna E.R. é calculada segundo a seguinte fórmula.

$$E.R. = \frac{\sqrt{(\text{ValorReal} - \text{Média})^2 + (\text{Incerteza} \cdot k)^2}}{\text{ValorReal}} \cdot 100$$

César Antoniazzi  
 Responsável Técnico

## FREQUÊNCIA

| Fase | Valor Real | Valor Médio | Incerteza | k    | Valf   | E.R.  |
|------|------------|-------------|-----------|------|--------|-------|
| 1    | 61,20      | 60,0018     | 0,0039    | 2,18 | 14,264 | 0,01% |

## TENSÃO ALTERNADA

| Fase | Valor Real | Valor Médio | Incerteza | k    | Valf  | E.R.  |
|------|------------|-------------|-----------|------|-------|-------|
| 1    | 90,0       | 90,036      | 0,0073    | 2,18 | 11,07 | 0,02% |
| 2    | 90,0       | 90,036      | 0,0078    | 2,18 | 11,05 | 0,02% |
| 3    | 90,0       | 90,096      | 0,0021    | 2,18 | 11,07 | 0,05% |
| 1    | 220,0      | 210,028     | 0,0237    | 2,18 | 11,07 | 0,03% |
| 2    | 220,0      | 210,033     | 0,0691    | 2,18 | 11,01 | 0,03% |
| 3    | 220,0      | 210,036     | 0,0413    | 2,18 | 11,01 | 0,03% |
| 1    | 300,0      | 300,095     | 0,0057    | 2,18 | 11,04 | 0,04% |
| 2    | 300,0      | 300,073     | 0,0061    | 2,18 | 11,00 | 0,04% |
| 3    | 300,0      | 300,092     | 0,1007    | 2,18 | 11,00 | 0,04% |

## CORRENTE ALTERNADA

| Fase | Valor Real | Valor Médio | Incerteza | k    | Valf   | E.R.  |
|------|------------|-------------|-----------|------|--------|-------|
| 1    | 25,00      | 25,0454     | 0,0095    | 2,18 | 11,302 | 0,19% |
| 2    | 25,00      | 25,0271     | 0,0061    | 2,18 | 11,473 | 0,11% |
| 3    | 25,00      | 25,0088     | 0,0191    | 2,18 | 11,322 | 0,16% |
| 1    | 50,00      | 50,1170     | 0,0052    | 2,18 | 11,413 | 0,23% |
| 2    | 50,00      | 50,1837     | 0,0089    | 2,18 | 11,486 | 0,37% |
| 3    | 50,00      | 50,1299     | 0,0067    | 2,18 | 11,330 | 0,26% |
| 1    | 100,00     | 100,0056    | 0,0051    | 2,18 | 11,189 | 0,04% |
| 2    | 100,00     | 100,0625    | 0,0234    | 2,18 | 11,043 | 0,06% |
| 3    | 100,00     | 100,0378    | 0,0284    | 2,18 | 11,043 | 0,05% |
| 1    | 200,00     | 198,2837    | 0,0630    | 2,18 | 11,009 | 0,87% |
| 2    | 200,00     | 198,2573    | 0,0628    | 2,18 | 11,012 | 0,87% |
| 3    | 200,00     | 198,2119    | 0,0641    | 2,18 | 11,012 | 0,89% |

## POTÊNCIA COM FP CAPACITIVO

| Fase | Tensão (V) | Corrente (A) | Fator de Potência | Valor Real | Valor Médio | Incerteza | k    | Valf | E.R.  |
|------|------------|--------------|-------------------|------------|-------------|-----------|------|------|-------|
| 1    | 220,0      | 25,0         | 0,800             | 4400,57    | 4398,2271   | 4,4892    | 2,18 | 11   | 0,11% |
| 2    | 220,0      | 25,0         | 0,300             | 4700,57    | 4390,6450   | 4,3692    | 2,18 | 11   | 0,15% |
| 3    | 220,0      | 25,0         | 0,800             | 4400,57    | 4394,7363   | 4,2329    | 2,18 | 11   | 0,16% |
| 1    | 220,0      | 50,0         | 0,800             | 8801,14    | 8796,1963   | 7,3076    | 2,18 | 11   | 0,10% |
| 2    | 220,0      | 50,0         | 0,800             | 8801,14    | 8801,0676   | 5,8237    | 2,18 | 11   | 0,07% |
| 3    | 220,0      | 50,0         | 0,800             | 8801,14    | 8794,5480   | 6,1467    | 2,18 | 11   | 0,10% |
| 1    | 220,0      | 100,0        | 0,800             | 17602,28   | 17572,8027  | 16,4671   | 2,18 | 11   | 0,19% |
| 2    | 220,0      | 100,0        | 0,800             | 17602,28   | 17561,2793  | 16,2120   | 2,18 | 11   | 0,25% |
| 3    | 220,0      | 100,0        | 0,800             | 17602,28   | 17568,7188  | 16,3568   | 2,18 | 11   | 0,21% |
| 1    | 220,0      | 200,0        | 0,800             | 35204,56   | 35089,6014  | 29,0629   | 2,18 | 11   | 0,34% |
| 2    | 220,0      | 200,0        | 0,800             | 35204,56   | 35102,7148  | 27,9951   | 2,18 | 11   | 0,30% |
| 3    | 220,0      | 200,0        | 0,800             | 35204,56   | 35099,3003  | 29,1169   | 2,18 | 11   | 0,31% |

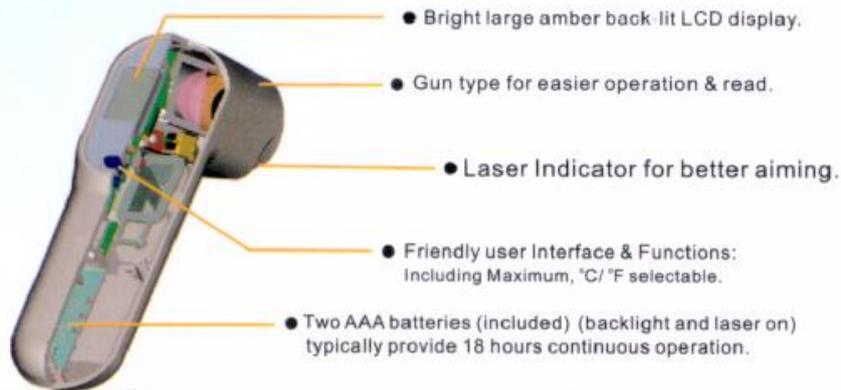
## POTÊNCIA COM FP INDUTIVO

| Fase | Tensão (V) | Corrente (A) | Fator de Potência | Valor Real | Valor Médio | Incerteza | k    | Valf | E.R.  |
|------|------------|--------------|-------------------|------------|-------------|-----------|------|------|-------|
| 1    | 220,0      | 25,0         | 0,800             | 4400,57    | 4378,7993   | 5,7094    | 2,18 | 11   | 0,51% |
| 2    | 220,0      | 25,0         | 0,800             | 4400,57    | 4386,0200   | 3,2192    | 2,18 | 11   | 0,34% |
| 3    | 220,0      | 25,0         | 0,800             | 4400,57    | 4378,2061   | 3,5098    | 2,18 | 11   | 0,49% |
| 1    | 220,0      | 50,0         | 0,800             | 8801,14    | 8784,4131   | 4,7901    | 2,18 | 11   | 0,20% |
| 2    | 220,0      | 50,0         | 0,800             | 8801,14    | 8799,8545   | 4,7991    | 2,18 | 11   | 0,06% |
| 3    | 220,0      | 50,0         | 0,800             | 8801,14    | 8789,9619   | 4,9547    | 2,18 | 11   | 0,14% |
| 1    | 220,0      | 100,0        | 0,800             | 17602,28   | 17526,3574  | 12,1993   | 2,18 | 11   | 0,44% |
| 2    | 220,0      | 100,0        | 0,800             | 17602,28   | 17535,1010  | 12,9649   | 2,18 | 11   | 0,39% |
| 3    | 220,0      | 100,0        | 0,800             | 17602,28   | 17524,0684  | 13,1003   | 2,18 | 11   | 0,46% |
| 1    | 220,0      | 200,0        | 0,800             | 35204,56   | 35124,1802  | 18,0951   | 2,18 | 11   | 0,23% |
| 2    | 220,0      | 200,0        | 0,800             | 35204,56   | 35147,2305  | 18,1369   | 2,18 | 11   | 0,17% |
| 3    | 220,0      | 200,0        | 0,800             | 35204,56   | 35132,0603  | 18,8110   | 2,18 | 11   | 0,21% |

ANEXO III –Termômetro Digital Infravermelho

# SPECIFICATION

| Item                          | <input type="checkbox"/>  | <input checked="" type="checkbox"/>  |
|-------------------------------|---|--|
| Measurement Range             | -50~400°C<br>-58~752°F  | -60~500°C<br>-76~932°F   |
| Operating Range               | 0~50°C<br>32~122°F  |  |
| Full Range Accuracy           | (Tobj=-33-400°C,<br>Tamb=23 +/- 3°C)<br>+/-2% of reading or 2°C (4°F)<br>whichever is greater | (Tamb=23 +/- 3°C)<br>0~500°C: +/-2% of reading or<br>2°C (4°F) whichever is greater<br>-60~0 °C: +/- (2°C+0.05/degree) |
| Resolution<br>(-9.9~199.9 °C) | 0.1°C/0.1°F   |  |
| Response Time<br>(90%)        | 1sec  |  |
| TPI wave lenth                | 5-14 μm   |  |
| Emissivity                    | 0.95 fixed  |  |
| Distance : Spot               | 9:1   | 12:1   |
| Battery Life                  | Typical 18 hours continuous use<br>(Alkaline, with Laser and Back Light.)                     |  |
| Dimensions                    | 175 x 39 x 72 mm / 6.9 x 1.54 x 2.83 inch   |  |
| Weight                        | 179 grams including batteries (AAA*2pcs)  |  |



## ANEXO IV –Chuveiro com Controle Eletrônico ThermoSystem

**Produto:**  
**Ducha Eletrônica ThermoSystem**

**Fabricante:**  
**ThermoSystem**  
 sac@thermosystem.com.br – 0800-648-0500

**Versões:**  
 127 V – 5.500 W  
 220 V – 6.800 W  
 220 V – 7.700 W

**Apresentação resumida:** (até 250 caracteres)

**A Ducha Eletrônica ThermoSystem** permite um ajuste fino e preciso da temperatura para proporcionar um banho ainda mais gostoso e sempre na temperatura certa. Oferece muito mais conforto, segurança e economia.

**Apresentação completa:** (até 1.000 caracteres)

**A Ducha Eletrônica ThermoSystem** permite que o usuário regule a temperatura através de uma haste ao alcance das mãos durante o banho com total segurança. O controle eletrônico da potência utilizada possibilita o uso mais eficiente da energia, tanto no inverno quanto no verão.

O design do espalhador permite maior vazão de água, proporcionando um banho muito mais gostoso. A ducha vem acompanhada da **Baby Ducha**, uma duchinha que possui jato obediente. Ao abrir a **Baby Ducha**, a água pára de sair pelo espalhador.

É a única ducha do mercado que possui laudo técnico comprovando economia de até 35% de energia elétrica e até 54% no consumo de água em relação às duchas tradicionais de 3 temperaturas.

**Garantia:**

**Prazo de garantia total:** 15 meses (sendo os 3 primeiros meses de garantia legal e mais 12 meses de garantia especial concedida pelo fabricante contra defeitos de fabricação e matéria prima). A resistência possui garantia legal de 3 meses.

**Características:**

Cor: **Branca**

Composição básica: Ligas de ferro, ligas de cobre, ligas de prata, elastômeros e plásticos.

Validade: **Produto não perecível.**

Peso do produto: **648 g**

Dimensões do produto: **12 x 19,4 x 30,6 (L x A x P em centímetros).**

Conteúdo da embalagem: **1 Ducha Eletrônica ThermoSystem, 1 haste de controle, 1 mangueira de 2 m, 1 suporte para mangueira, 1 Baby Ducha Sol, 1 manual de instalação com lista de assistências técnicas autorizadas.**

**Especificações:**

**(versão 127 V – 5.500 W)**

Tensão nominal: **127 V**

Potência: **5.500 W**

Consumo mensal mínimo: **11,9 KWH**

Consumo mensal máximo: **22,9 KWH**

Fiação mínima: **6 mm<sup>2</sup>**

Disjuntor: **40 A**

Pressão de funcionamento: **10 a 400 Kpa (1 a 40 m.c.a.)**

No. IP (Grau de Proteção): **IP 24**

Distância máxima do disjuntor ao aparelho: **30 m**

**(versão 220 V – 6.800 W)**

Tensão nominal: **220 V**

Potência: **6.800 W**

Consumo mensal mínimo: **10,9 KWH**

Consumo mensal máximo: **31,1 KWH**

Fiação mínima: **4 mm<sup>2</sup>**

Disjuntor: **30 A**

Pressão de funcionamento: **10 a 400 Kpa (1 a 40 m.c.a.)**

No. IP (Grau de Proteção): **IP 24**

Distância máxima do disjuntor ao aparelho: **30 m**

**(versão 220 V – 7.700 W)**

Tensão nominal: **220 V**

Potência: **7.700 W**

Consumo mensal mínimo: **18 KWH**

Consumo mensal máximo: **34,7 KWH**

Fiação mínima: **6 mm<sup>2</sup>**

Disjuntor: **40 A**

Pressão de funcionamento: **10 a 400 Kpa (1 a 40 m.c.a.)**

No. IP (Grau de Proteção): **IP 24**

Distância máxima do disjuntor ao aparelho: **30 m**

**Certificações:**

**“Este produto tem seu desempenho aprovado pelo INMETRO e está em conformidade com o Programa Brasileiro de Etiquetagem.” Empresa com certificação ISO 9001:2000.**

**Para sua segurança:**

Leia o manual de instruções. Em caso de dúvida entre em contato com o fabricante. O fio terra deste produto deve ser conectado a um sistema de aterramento conforme a norma NBR 5410. A instalação elétrica e o sistema de aterramento devem ser executados por pessoa qualificada. A resistividade da água a 22° C não deve ser inferior a 1300Ωcm.

## ANEXO V – Fogão de Mesa de Indução

# ICP30

## CookTop Celebrate por indução

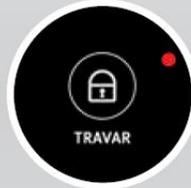


**Controle eletrônico  
"touch control":**  
Permite controle mais preciso da  
temperatura, além de ser mais  
moderno e fácil de limpar.



**Timer:**  
mais comodidade para  
você programar o tempo de  
cozimento.

**Trava de proteção:**  
Evita a programação  
indesejada do produto.  
Maior segurança.



### DIMENSÕES (cm)

#### Produto embalado

Altura: 11,8

Largura: 38,8

Profundidade: 40,7

#### Produto desembrado

Altura: 8,5

Largura: 30,0

Profundidade: 35,5

*Pensando em você*  
**Electrolux**



## ICP30

### ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

#### Código comercial:

|            |             |
|------------|-------------|
| 127V ..... | 52301CBA189 |
| 220V ..... | 52301CBA289 |

#### Código EAN:

|                                   |                |
|-----------------------------------|----------------|
| 127V (embalagem individual) ..... | 6939962706559  |
| 220V (embalagem individual) ..... | 6939962706566  |
| 127V (embalagem master) .....     | 16939962706556 |
| 220V (embalagem master) .....     | 16939962706563 |

|  |         |
|--|---------|
| Tipo de tecnologia de cozimento: ..... | indução |
| Níveis de potência: .....              | 6       |
| Portátil: .....                        | sim     |
| Embutível: .....                       | não     |
| Trava de proteção: .....               | sim     |
| Timer: .....                           | sim     |

|                                   |                                |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Peso (kg) não embalado: .....     | 3                              |
| Peso (kg) produto embalado: ..... | 3.5                            |
| Cor disponível: .....             | vidro preto/abacamento em inox |

#### Dados Técnicos:

|   |           |
|---|-----------|
| Potência Total (de consumo) (W) 127V: ..... | 1.300     |
| Potência Total (de consumo) (W) 220V: ..... | 2.000     |
| Frequência (Hz): .....                      | 60        |
| Tensão (V): .....                           | 127V/220V |
| Corrente (A) 127V: .....                    | 11.0      |
| Corrente (A) 220V: .....                    | 10.0      |

#### Leve e compacto:

Pode ser levado para diferentes lugares, além de proporcionar grande versatilidade.

#### Funcionamento por Indução:

Proporciona uma resposta rápida e controle preciso da temperatura. Além de mais segurança e maior eficiência.

#### Econômico:

Por ser super eficiente, cozinha pratos rapidamente, com baixo consumo de energia e sem desperdício.

#### Mesa de vidro selada:

A mesa de vidro é super fácil de limpar.

#### 6 Níveis de potência:

Controle mais preciso da temperatura. Permite que você prepare um prato rapidamente ou simplesmente mantenha aquecido.

#### Acabamento em aço inox:

Maior durabilidade e sofisticação.

#### Painel Digital.

Consulte o manual de instrução sobre panelas recomendadas.