

## **AValiação EconôMica e Ambiental de Tecnologias de Aquecimento Residencial de Água**

### **ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL EVALUATION OF WATER RESIDENTIAL HEATING TECHNOLOGIES**

**Danilo Ferreira de Souza**

Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE/USP)  
[danilo.ferreira.souza@hotmail.com](mailto:danilo.ferreira.souza@hotmail.com)

**Vinícius Gouveia Scartezini de Rezende**

Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE/USP)  
[scartezini.vinicius@gmail.com](mailto:scartezini.vinicius@gmail.com)

**Pedro Paulo Fernandes da Silva**

Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE/USP)  
[ppfsilva@usp.br](mailto:ppfsilva@usp.br)

#### **RESUMO**

Objetivou-se comparar dois sistemas para aquecimento residencial de água para banho: chuveiro elétrico e aquecedor de passagem a gás natural. A análise é elaborada considerando o tempo de banho de uma família típica. As variáveis de comparação incluem o custo final para o usuário e o impacto ambiental medido pela emissão equivalente de CO<sub>2</sub>. Foi simulado o uso de dois sistemas por uma família típica como unidade consumidora, considerando as tarifas de energia aplicadas na cidade de São Paulo, Brasil. Utilizando um chuveiro elétrico baseado em uma fonte termoeletrica primária, o rendimento acumulado da eficiência foi de 39%, de acordo com a literatura pesquisada; quando a fonte primária utilizada foi à hidroeletricidade, essa eficiência rendeu 64%. Ao usar diretamente o aquecedor de água a gás natural, a eficiência acumulada atingiu 81%. Em uso anual para chuveiro elétrico, o custo final ao consumidor foi de R\$ 2.184,00, em contrapartida, pelo sistema de Gás Natural, o valor anual acumulado foi de R\$ 1.343,04. Na consideração das emissões de CO<sub>2</sub>, o chuveiro elétrico resultou em emissão de 24,51 kg de CO<sub>2</sub> equivalente; enquanto o gás natural representou 45,64 kg de CO<sub>2</sub> equivalente, quase o dobro. Portanto, embora o gás seja mais econômico, é o insumo energético que mais contribui para a emissão de gases de efeito em comparação com a eletricidade da matriz elétrica brasileira.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética; Chuveiro Elétrico; Aquecedor de Água; Impactos Ambientais.

#### **ABSTRACT**

The objective was to compare two systems for residential heating of water for bath: electric shower and heater of passage to natural gas. The analysis is made considering the bath time of a typical family. Comparison variables include the final cost to the user and the environmental impact measured by the equivalent CO<sub>2</sub> emission. It was simulated the use of two systems by a typical family as a consumer unit, considering the energy tariffs applied in the city of São Paulo, Brazil. Using an electric shower based on a primary thermoelectric source, the accumulated efficiency yield was 39%, according to the researched literature; when the primary source used was hydroelectricity, this efficiency yielded 64%. By using the natural gas water heater directly, the accumulated efficiency reached 81%. In annual use for electric shower, the final cost to the consumer was R\$ 2,184.00, in contrast, by the Natural Gas system, the accumulated annual value was R\$ 1,343.04. In the consideration of CO<sub>2</sub> emissions, the electric shower resulted in emission of 24.51 kg of CO<sub>2</sub>

equivalent; while natural gas accounted for almost 45.64 kg of CO<sub>2</sub> equivalent. Therefore, although gas is more economical, it is the energy input that contributes most to the emission of effect gases compared to the electricity of the Brazilian electricity matrix.

**Keywords:** Energy Efficiency; Electric Shower; Tankless Water Heater; Environmental Impacts.

## INTRODUÇÃO

No final do Séc. XX, os avanços tecnológicos aperfeiçoaram o uso de energia desde os sistemas primários, passando pelo transporte, conversão e utilização final. As diversas perdas acumuladas foram reduzidas, melhorando a eficiência energética global dos sistemas. A busca por formas mais eficientes economicamente, energeticamente e ambientalmente para diferentes utilizações tem sido pauta das atuais discussões no âmbito mundial. No caso do Brasil, existe uma forte cultura de utilização de energia elétrica no aquecimento de água para banho, resultado histórico da disponibilidade hídrica para geração de energia elétrica em oposição às tardias descobertas de hidrocarbonetos no território nacional.

A utilização de eletricidade para aquecimento de água pode não ser a mais eficiente, uma vez comparada com outras formas de menor custo, principalmente ao se considerar as economias acumuladas no ciclo de vida.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Energética (EPE) em seu Balanço Energético Nacional de 2016 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2016), o consumo foi de aproximadamente 578,9 TWh de energia elétrica, onde 26,12% foi consumido nas residências, 40,91% foi consumido no setor industrial, 17,83% no comércio e 15,11% são consumidos em outras classes como poder público, iluminação pública e rural (Idem, 2017). Em valores absolutos, o consumo no setor residencial anual do Brasil é equivalente à produção total de muitos países considerados desenvolvidos do mundo, como por exemplo, Suécia, Polônia, Noruega e Países baixos, evidenciado pela *International Energy Agency* (IEA) (INTERNACIONAL ENERGY AGENCY, 2016) – conforme Tabela 1.

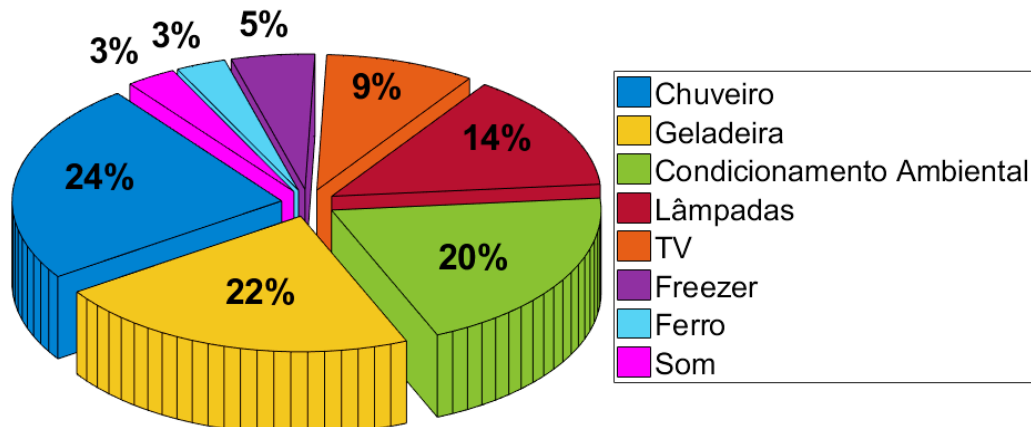
**Tabela 1:** Total de energia produzida em GWh – Ano Base 2015

| PAÍSES  | ENERGIA PRODUZIDA (GWH) |
|---------|-------------------------|
| SUÉCIA  | 134.994                 |
| POLÔNIA | 147.297                 |
| NORUEGA | 126.141                 |
| HOLANDA | 113.421                 |

Fonte: *Internacional Energy Agency*, 2016.

No âmbito residencial brasileiro verifica-se que, de forma geral, o consumo residencial médio típico das unidades consumidoras brasileiras se destina, em sua maior parte, para

refrigeração, seguido de aquecimento de água e iluminação, conforme verificado na Figura 1.



**Figura 1:** Consumo de Energia Percentual Médio por Eletrodoméstico no Brasil  
Fonte: Adaptado de (ELETROBRAS, 2009).

As estimativas de participação do consumo dos eletrodomésticos diferem em relação a outras literaturas. Para Guisi (2007), por exemplo, o chuveiro tem participação média de 20% do consumo de energia elétrica nos usos residenciais no Brasil (GHISI; GOSCH; LAMBERSTS, 2007). Já para a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2012), 18% da utilização residencial está alocada para este uso final. A partir do consumo de energia residencial percentual sugerido pelo Procel (ELETROBRAS, 2009), no Brasil 24% da energia é consumida em chuveiros elétricos para o aquecimento de água, ou seja, algo em torno de 36,29 GWh em 2016.

## 1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A construção de grandes usinas hidroelétricas, com intuito de aumentar a oferta de energia elétrica, requer longo tempo de implantação e acarreta também muitos impactos ambientais e sociais. Contudo, atuar no uso eficiente e racional da energia é bem menos oneroso, possibilitando reduzir os custos para o consumidor final, bem como postergar investimentos em geração transmissão e distribuição de energia elétrica, o que pode ser alcançado por meio de políticas públicas de efficientização. Para tanto, implantou-se o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) no ano de 1985 (BRASIL, 1985). Posteriormente, em 1995, foi transformado no Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica. Com a implantação e o fomento dessas políticas, desejava-se reduzir a crescente necessidade de construção de hidroelétricas com longas linhas de transmissão e elevados impactos ambientais, uma vez que os locais para aproveitamentos hidroelétricos, na

maioria das vezes, estão situados distante dos centros de consumo de energia elétrica.

No decorrer dos anos 90, devido à política de privatizações no setor elétrico brasileiro, foram retirados os subsídios da tarifa de eletricidade, que em tal momento passava de um "bem" para uma "mercadoria", segundo D'Araújo (2009). A tarifa passou a sofrer fortes reajustes na tarifa, o que impulsionou o setor industrial a desenvolver equipamentos mais eficientes e novas tecnologias para redução do consumo de energia nos segmentos: residencial e industrial. Dentro de uma das tarifas mais cara do mundo, a região sudeste do país possui as tarifas mais caras do país (CORREIA; CULCHESK; REGO, 2016).

A eficiência energética vem se tornando ponto importante na pauta das discussões sobre produção e demanda de energia, tanto no âmbito nacional, como global, apresentando atualmente um papel central nas políticas do meio ambiente. Não obstante, as políticas de efficientização no uso da energia elétrica apresentam foco no combate às mudanças climáticas, visto que com a redução consumo de energia no uso final com equipamentos é possível reduzir as emissões de gases de efeito em toda a cadeia. De maneira que, esta deve ser uma política de estado, apontando um horizonte de crescimento econômico diminuindo a necessidade de grandes empreendimentos de geração.

Em 2003, foi publicado o Programa de Eficiência Energética em Edificações (Procel Edifica) (ELETROBRÁS, 2003), que institui procedimentos para uso eficiente dos recursos energéticos nas edificações, visando à economia de recursos e otimizando o conforto no uso da edificação. O processo de eficiência não se resume apenas ao uso de equipamentos de elevado rendimento, devendo ser analisado como um todo, desde a fonte primária, conversão e transporte, até o uso final dos recursos energéticos. Neste sentido, é importante realizar o balanço energético, com as médias das perdas elétricas, mecânicas e térmicas dos processos energéticos.

Como visto anteriormente um dos grandes responsáveis pelas elevadas demandas do consumo residencial é o chuveiro elétrico. No qual a energia elétrica é convertida em energia térmica, com objetivo de aquecimento de água para o banho dos indivíduos residentes de uma unidade consumidora, através de um processo conhecido como eletrotermia.

Um grande número de residências brasileiras possui o chuveiro elétrico para aquecimento de água para banho, e muitas das cidades brasileiras também possuem serviços de fornecimento de gás encanado, desta forma torna-se interessante analisar a eficiência acumulada no processo produção, transporte distribuição e queima do gás. Bem como analisar os custos finais ao consumidor, para auxiliar na tomada de decisão para a escolha da

tecnologia de aquecimento doméstico de água para banho.

Para analisar a eficiência acumulada ao longo dos processos de conversão de energia é apresentada a Figura 2, bem como, as perdas para o aquecimento de água utilizando o Gás Natural, evidenciando ao final das etapas eficiência de 81%. Observa-se que as perdas são baixas, quando comparado com outras fontes, no processamento e transporte, uma vez que o centro de processamento fica próximo dos ambientes residenciais.



**Figura 2:** Perdas energéticas no aquecimento de água utilizando queima direta de Gás Natural  
Fonte: Adaptado de (SINDIGÁS, 2012).

A Figura 3 ilustra a eficiência energética acumulada, bem como perdas para o aquecimento de água com uso de termoeletricidade, evidenciando ao final das etapas a eficiência de 39%, e perdas na geração em torno de 53%. A Figura 4 ilustra a eficiência energética, bem como perdas para o aquecimento de água com hidrelétricas, evidenciando ao final das etapas uma eficiência de 64%.

## AQUECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO CHUVEIRO ELÉTRICO E FONTE PRIMÁRIA GÁS NATURAL



**Figura 3:** Perdas energéticas acumuladas no aquecimento de água com chuveiro elétrico considerando termelétrica como tecnologia primária de conversão  
Fonte: Adaptado de (SINDIGÁS, 2012).

## AQUECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO CHUVEIRO ELÉTRICO E FONTE PRIMÁRIA ENERGIA HIDRÁULICA



**Figura 4:** Perdas energéticas acumuladas no aquecimento de água com chuveiro elétrico, possuindo energia hidráulica como fonte primária  
Fonte: Adaptado de (SINDIGÁS, 2012).

Desta forma, é evidenciada a maior eficiência global do sistema, baseado na queima direta do Gás Natural para o aquecimento de água em substituição ao chuveiro elétrico, tendo em vista as condições disponibilidade dos serviços.

## 2. ANÁLISE

Uma vez conhecida a eficiência teórica do processo de conversão de energia por eletricidade tendo como fonte primária energia hidráulica ou poder calorífico do Gás Natural, foi analisado o custo final de aquecimento de água para banho em uma habitação convencional composta por três dormitórios, na qual reside de forma contínua, uma família de 4 membros.

Em estudos na qualidade de saúde e higiene pessoal, Almeida, Seganfredo et al. (2010) consideram, como média nacional, 2 banhos por pessoas com aproximadamente 15 minutos cada, independente de sexo ou idade. Sendo assim, tem-se com base na Equação 1, o tempo total diário (T) de banhos de uma família convencional.

$$T = Q \times N \times t \quad (1)$$

Onde:

Q = Quantidade de pessoas presentes em uma residência típica (4 pessoas)

N = Número de banhos diários por pessoa (2 banhos)

t = Tempo total do banho diário de uma família convencional (15 min = 0,25h)

Logo:

$$T = 4 \times 2 \times 0,25$$

T = 2 horas diárias (Tempo Total Diário)

### 2.1. Chuveiro Elétrico

Segundo o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (2016), um chuveiro residencial convencional apresenta variação e opção de uso de potência para 4 temperaturas, referentes às 4 estações anuais, sendo no inverno utilizado sua maior potência, que varia, dependendo do fabricante do chuveiro elétrico, em potências entre 5.500 W a 7.500 W. Neste estudo considerou-se um chuveiro elétrico operando durante um ano, com potência média de 5.000 W ou 5 kW. Através da Equação 2, pode-se calcular a energia (E) consumida em um dia de uso.

$$E = P \times T \quad (2)$$

Onde:

E = Energia em kWh consumida em um mês

P = Potência ativa em kW

T = Tempo Total Diário em horas (h) calculado pela equação (1)

Logo:

$$E = 5 \text{ kW} \times 2 \text{ Horas}$$

$$E = 10 \text{ kWh}$$

Considerando um mês convencional de 30 dias, temos:

$$\text{Consumo de Energia Mensal (Em)} = 10 \text{ kWh} \times 30 \text{ dias}$$

$$\text{Consumo de Energia Mensal (Em)} = 300 \text{ kWh}$$

Tendo em vista o custo médio de energia na cidade de São Paulo, em bandeira verde, para um consumidor trifásico em tarifa convencional, atendido em tensão secundária para consumo médio mensal superior a 200 kWh, sendo considerados as taxas de PIS, Cofins e ICMS no ano de 2017 e sendo considerado a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), Tarifa de Energia (TE) e a contribuição com a iluminação pública, tem-se o valor de 0,61 R\$/kWh em bandeira verde. Para a bandeira Amarela, quando as condições de geração são menos favoráveis, é adicionado R\$ 0,015 para cada 1 quilowatt-hora (kWh) consumido. Para a bandeira vermelha patamar 1, o aumento é de R\$ 0,03 para cada 1 quilowatt-hora (kWh) e para a bandeira vermelha patamar 2, o aumento é de R\$ 0,05 para cada 1 quilowatt-hora (kWh) consumido. Os valores de tarifas citados são praticados pela concessionária AES Eletropaulo na região metropolitana da cidade, para clientes atendidos em Baixa Tensão no Grupo B (AES ELETROPAULO). O valor mensal a ser pago pela utilização do aquecimento elétrico de água, conforme a Equação 3 será de:

$$C\$ = Em \times Tr \quad (3)$$

Onde:

C\$ = Custo Final em reais (R\$)

Em = Consumo de Energia Mensal em kWh

Tr = Tarifa em reais (R\$)

Logo:

$$C\$v = 300 \text{ kWh} \times 0,61 \text{ R\$/kWh (bandeira verde)}$$

$$C\$v = \text{R\$ } 183,00 \text{ (bandeira verde)}$$

$$C\$a = 300 \text{ kWh} \times 0,625 \text{ R\$/kWh (bandeira amarela)}$$

$$C\$a = \text{R\$ } 187,50 \text{ (bandeira amarela)}$$

$$C\$v_1 = 300 \text{ kWh} \times 0,64 \text{ R\$/kWh (bandeira vermelha patamar 1)}$$

$$C\$v_1 = \text{R\$ } 192,00 \text{ (bandeira vermelha patamar 1)}$$

$$C\$v_2 = 300 \text{ kWh} \times 0,67 \text{ R\$/kWh (bandeira vermelha patamar 2)}$$

$$C\$v_2 = \text{R\$ } 201,00 \text{ (bandeira vermelha patamar 2)}$$



## 2.2. Aquecedor de Passagem a Gás

Este estudo considerou, no método comparativo, a utilização do sistema de aquecimento de água para banho, composto de um aquecedor de passagem que utiliza como fonte energética o Gás Natural. Em relação à análise do chuveiro elétrico, foram utilizados os mesmos dados para tempo de banho de uma família convencional, temperatura de entrada da água no sistema a gás de 20 °C, consumo médio de 8 L/min, consumo de gás do aquecedor térmico (Ca) de passagem sendo 0,91 kg/h de Gás Natural (LAFAY, 2005). Sendo assim, o consumo mensal de gás em quilograma CGM é calculado através da Equação 4:

$$\text{CGM} = \text{Ca} \times \text{T} \times \text{N} \quad (4)$$

Onde:

CGM = Consumo de Gás Natural mensal em kg

Ca = Consumo do aquecedor em kg/h

T = Tempo de utilização em horas. Tal como calculado na Equação 1.

N = Número de dias do mês

Logo:

$$\text{CGM} = \text{Ca} \times \text{T} \times \text{N}$$

$$\text{CGM} = 0,91 \text{ kg/h} \times 2 \text{ Horas} \times 30 \text{ dias}$$

$$\text{CGM} = 54,6 \text{ kg}$$

Como no Brasil o fornecimento de gás se dá em quilogramas e a cobrança pela utilização se faz em metro cúbico, há a necessidade de efetuar a conversão de kg para m<sup>3</sup> a fim de especificar o valor de consumo (Equação 5). Sendo assim, tem-se:

$$\text{CGm}^3 = \text{CGM} / \rho \quad (5)$$

Onde:

CGm<sup>3</sup> = Consumo de Gás Natural mensal em m<sup>3</sup>

CGM = Consumo de Gás Natural mensal em kg

$\rho$  = Densidade do Gás Natural em kg/m<sup>3</sup>

Logo:

$$\text{CGm}^3 = \text{CGM} / \rho$$

$$\text{CGm}^3 = 54,6 \text{ (kg)} / 2,5 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{CGm}^3 = 21,84 \text{ m}^3$$

O custo do gás para um consumidor (Cc\$), que possui um consumo entre 14,01 a 34,00 m<sup>3</sup>, considerando o ICMS, a parcela fixa de 8,40 R\$/mês e tarifa variável de 4,74 R\$/m<sup>3</sup>, sendo os valores praticados pela concessionária Comgás na região metropolitana da cidade, para clientes residenciais Classe 5 (COMGÁS, 2017). Pela Equação 6 temos:

$$Cc\$ = F + (CM \times V) \quad (6)$$

Onde:

Cc\$ = Custo em reais para um consumidor

F<sup>1</sup> = Valor do encargo Fixo em reais (R\$)

CGm<sup>3</sup> = Consumo de Gás Natural mensal em m<sup>3</sup> (3.6)

V = Valor do Encargo Variável em reais (R\$)

Logo:

$$Cc\$ = 8,4 \text{ R\$/m}^3 + (21,84 \text{ m}^3 \times 4,74 \text{ R\$/m}^3)$$

$$Cc\$ = \text{R\$ } 111,92$$

Foram considerados os dados abaixo, para Gás Natural, referidos nas seguintes condições:

- Poder Calorífico Inferior: 8.800 kcal/m<sup>3</sup>;
- Temperatura = 293,15 K (20 °C);
- Pressão = 101.325 Pa (1 atm).
- 

A Tabela 2 apresenta a comparação final anual entre o custo do sistema de aquecimento de água utilizando a queima direta do Gás Natural e os custos utilizando o chuveiro nas condições das diversas bandeiras.

**Tabela 2:** Comparação dos custos envolvendo gás natural e eletricidade

| SISTEMA DE AQUECIMENTO                 | CUSTOS FINAIS ANUAIS |
|--|----------------------|
| CHUVEIRO ELÉTRICO EM BAND. VERDE       | R\$ 2.196,00         |
| CHUVEIRO ELÉTRICO EM BAND. AMARELA     | R\$ 2.250,00         |
| CHUVEIRO ELÉTRICO EM BAND. VERMELHA P1 | R\$ 2.304,00         |
| CHUVEIRO ELÉTRICO EM BAND. VERMELHA P2 | R\$ 2.412,00         |
| AQUECIMENTO DE PASSAGEM À GÁS NATURAL  | R\$ 1.343,04         |

Fonte: Os autores.

É possível observar que o aquecimento utilizando a queima direta do Gás Natural

<sup>1</sup> Remuneração mínima mensal à concessionária, exclusivamente pelos custos não recuperáveis associados à reserva de capacidade de transporte da quantidade de gás disponibilizadas a unidade consumida. Neste trabalho os custos fixos foram considerados apenas para serviço de aquecimento de água para banho.

ficou mais econômico em todos os cenários. No melhor cenário para a utilização do chuveiro elétrico, isto é, considerando a bandeira verde em vigência, o sistema a Gás foi 38,3% mais econômico. Faltando agora a análise ambiental para obter as dimensões referentes à eficiência energética, análise econômica e impacto ambiental da metodologia escolhida para aquecimento residencial de água para banho.

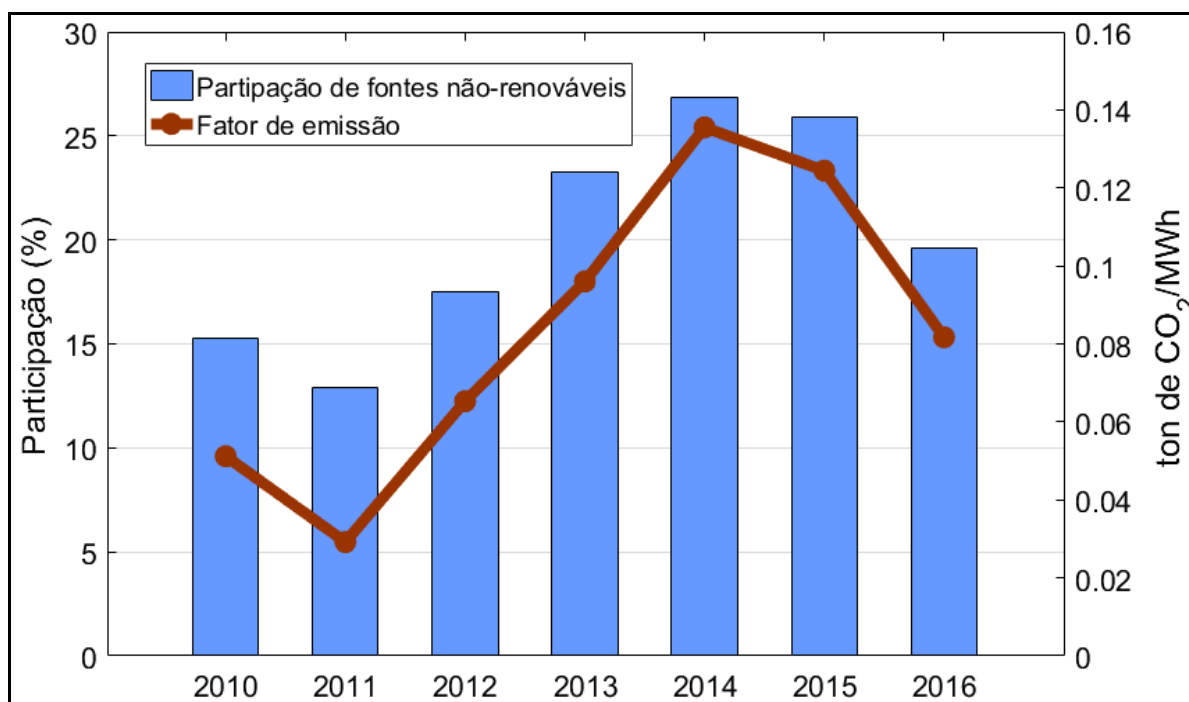
### 3. INVENTÁRIO DE EMISSÕES

As suspeitas sobre a influência do homem na elevação da temperatura do planeta tomam cada vez mais espaço nas pautas das conferências internacionais. Nestes debates a atenção está voltada para a redução na emissão de “Gases de Efeito Estufa” (GEE) cuja concentração na atmosfera tem aumentado desde a Primeira Grande Revolução Industrial do século XVIII.

Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (2014), a atividade humana que mais contribuiu em 2010 para o incremento de GEE na atmosfera foi setor de energia, desde a produção até a utilização final. Com 25% da fatia global de emissões destes gases, sua contribuição advém principalmente da queima de combustíveis fósseis para produção de eletricidade e calor.

No Brasil, apesar da matriz energética ser considerada “limpa”, quando comparada a matriz de países desenvolvidos, verificou-se um aumento da participação de combustíveis fósseis na composição de recursos primários do setor elétrico nacional no período 2011/2014. Este aumento, principalmente pela maior participação de termelétricas a gás natural, levou a um aumento na emissão de GEE para geração de energia elétrica no Brasil. A relação entre o aumento da participação de fontes não-renováveis na matriz elétrica nacional e a emissão associada a ela, se reflete no chamado fator de emissão, que pode ser visto na Figura 5.

Analisando a Figura 5, quando se trata de geração de energia elétrica, nota-se que o fator de emissão está referenciado em toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) equivalente, que representa o gás referência para estimativa do potencial de efeito estufa. Apesar do crescimento do fator de emissão no período 2011/2014, percebe-se que o fator não passou da faixa de 0,14 ton de CO<sub>2</sub> por MWh. Como base de comparação, a situação mais crítica é inferior a média de países como EUA (0,55 ton CO<sub>2</sub>/MWh), Alemanha (0,67 ton CO<sub>2</sub>/MWh) e China (0,97 ton CO<sub>2</sub>/MWh) (BRANDER *et al.*, 2011).



**Figura 5:** Evolução na participação de fontes não-renováveis na geração de energia elétrica e o fator de emissão

Fonte: (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2017; BRASIL).

Quando há emissão de outros gases estufa, faz-se a conversão da massa dos gases para CO<sub>2</sub> equivalente, representando a quantidade de dióxido de carbono que causaria o mesmo efeito de aquecimento. Esta conversão se dá pela multiplicação de um potencial de aquecimento global, expresso em massa de CO<sub>2</sub> pela massa do gás estufa. Como o potencial de aquecimento global depende da velocidade do decaimento do gás na atmosfera, este varia de acordo com o horizonte temporal, normalmente de 20, 100 e 500 anos. O relatório de 2007 (SOLOMON; QIN et al., 2007) do IPCC traz o potencial de aquecimento de vários gases estufa.

### 3.1. Chuveiro elétrico

Para estimar a emissão de CO<sub>2</sub> do chuveiro elétrico, utiliza-se o fator de emissão disponibilizado pelo Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) para elaboração de inventários de emissão (BRASIL). Para o ano de 2016 o fator de emissão médio para geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional é de 0,0817 ton de CO<sub>2</sub> por MWh, sendo o sistema brasileiro basicamente de composição hidrotérmica.

Considerando um consumo mensal de 300 kWh de energia elétrica por mês, tem-se uma quantidade de 24,51 kg de CO<sub>2</sub> equivalente emitidos pela utilização do chuveiro elétrico.

### 3.2. Aquecedor de passagem a gás

Os fatores de emissão relativos à combustão de gás natural encontram-se no volume 2 da publicação do IPCC denominada *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2006). Os fatores de emissão para queima de gás natural para o setor encontram-se na Tabela 3 junto com os valores de potencial estufa dos gases liberados com a queima de gás natural, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e NO<sub>2</sub>.

**Tabela 3:** Fatores de emissão e potencial estufa para os gases gerados na queima de gás natural

|   | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | NO <sub>2</sub> |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| FATOR DE EMISSÃO (KG DO GÁS POR TJ) <sup>A</sup>                      | 56100           | 5               | 0,1             |
| POTENCIAL DE AQUECIMENTO (KG CO <sub>2</sub> /KG DO GÁS) <sup>B</sup> | 1               | 25              | 298             |

Fonte: IPCC (2006, 2007) e Solomon, Qin et al. (2007).

Legenda: <sup>A</sup> Retirado de: IPCC (2006).

<sup>B</sup> Retirado de: IPCC (2007); Solomon, Qin et al. (2007) – horizonte de tempo de 100 anos.

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (2017), o PCI do gás natural seco é de 8800 kcal/m<sup>3</sup>, o que corresponde a 3,682 x 10<sup>-5</sup> TJ/m<sup>3</sup>. Ajustando os fatores de emissão em termos do volume gás natural, temos um fator de emissão de CO<sub>2</sub> igual a 2,06 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, CH<sub>4</sub> igual a 1,8 x 10<sup>-4</sup> kg CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup> e NO<sub>2</sub> igual a 3,68x10<sup>-6</sup> kg de NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Portanto, a queima de 21,84 m<sup>3</sup> de gás natural, ponderada pelo potencial de aquecimento dos gases estufa, resulta na emissão de 45,64 kg de CO<sub>2</sub> equivalente. O resumo das emissões de CO<sub>2</sub> pelo aquecimento de água através do chuveiro elétrico ou de queima de Gás Natural é mostrado na Tabela 4.

**Tabela 4:** Resumo do inventário de emissões das tecnologias comparadas

| TECNOLOGIA ANALISADA        | GASES DE EFEITO ESTUFA<br>(KG EQUIVALENTE DE CO <sub>2</sub> ) |
|-----------------------------|--|
| CHUVEIRO ELÉTRICO           | 24,51  |
| AQUECEDOR DE PASSAGEM A GÁS | 45,64  |

Fonte: Os autores.

Como esperado pelas características do sistema hidrotérmico brasileiro, a emissão de CO<sub>2</sub> equivalente decorrente da queima de gás natural para aquecimento de água é aproximadamente duas vezes maior que a emissão percebida quando a eletricidade é utilizada para este fim. Este cenário pode se inverter quando se trata de países que possuem uma

participação maior de fontes fósseis na geração de eletricidade. Por exemplo, considerando o consumo de energia proveniente da matriz dos EUA, o chuveiro elétrico emitiria 3 vezes mais do que o chuveiro a gás. Caso a energia elétrica fosse proveniente da China, este valor dobraria.

Com todas as considerações observadas ao longo deste trabalho, é apresentada a Tabela 5, como resumo:

**Tabela 5:** Resumo global das análises realizadas

| TECNOLOGIA ANALISADA        | EFICIÊNCIA ENERGÉTICA                    | ANÁLISE ECONÔMICA                        | ANÁLISE AMBIENTAL                                   |
|-----------------------------|--|--|---|
| CHUVEIRO ELÉTRICO           | EFICIÊNCIA ACUMULADA DE 81%              | CUSTO ANUAL DE R\$ 2.196,00 <sup>B</sup> | MENOS IMPACTANTE (24,51 KG EQ. DE CO <sub>2</sub> ) |
| AQUECEDOR DE PASSAGEM A GÁS | EFICIÊNCIA ACUMULADA DE 64% <sup>A</sup> | CUSTO ANUAL DE R\$ 1.343,04 <sup>C</sup> | MAIS IMPACTANTE (45,64 KG EQ. DE CO <sub>2</sub> )  |

Fonte: Modificado de AES Eletropaulo e Comgás (2017).

Legenda: <sup>A</sup> Considerando geração a partir de hidroelétricas.

<sup>B</sup> Considerando bandeira verde e tarifas praticadas em 2017, (AES ELETROPAULO).

<sup>C</sup> Considerando tarifas praticadas em 2017, (COMGÁS, 2017).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O chuveiro elétrico, apesar de ser um equipamento de eficiência considerada excelente, por volta de 95 %, quando submetido a uma análise global e sistêmica, envolvendo desde a fonte primária até o uso final com eficiência média de: 39% quando a fonte primária é de origem térmica, de 81% quando a origem é gás natural de 64% quando a origem é hidráulica, adquirir-se outras relevâncias que devem ser levadas em conta nas tomadas de decisão para o assunto em questão.

As referências também mostraram que quando utilizado o gás natural diretamente para a produção de calor, com o objetivo de aquecer a água para o banho, o rendimento foi na ordem de 81%. Sendo assim, a operação utilizando sistema de gás natural se mostra mais eficiente na perspectiva energética.

A eficiência energética de modo geral não elemento suficiente para convencer o usuário final quanto ao tipo de utilização, tornando a questão do custo o elemento central na retórica do convencimento para a tomada de decisão. Neste sentido, o custo anual de operação de um sistema de aquecimento de água a gás natural, na cidade de São Paulo foi de R\$ 1.343,04 considerando a utilização em bandeira verde. Em contrapartida, o sistema de aquecimento utilizando chuveiro elétrico, ou seja, eletricidade para atendimento da mesma

demanda aquecimento foi de R\$ 2.196,00, Considerando bandeira verde sendo a possibilidade mais econômica de eletricidade no Grupo B. Assim, utilizando o gás natural, foi calculada uma economia média anual de R\$ 852,96. Assim, pode-se concluir que o sistema de aquecimento a gás natural, se mostrou aproximadamente 39% mais econômico que o sistema de aquecimento utilizando chuveiro elétrico.

Se for utilizado o Gás Natural para aquecimento de água para banho, será possível reduzir a demanda de potência ativa (kW) das unidades consumidoras residenciais, principalmente no horário de ponta, onde a tarifa é mais elevada para os consumidores do Grupo A, já que os alimentadores do sistema de distribuição, na maioria das cidades brasileiras, estão sobrecarregados.

Podemos afirmar ainda que a eletricidade é uma forma nobre de representação da energia, devendo ser utilizada para atividades produtivas onde o seu uso final é mais essencial, como por exemplo: iluminação artificial, acionamento e controle de máquinas elétricas motrizes, energização de dispositivos eletrônicos etc.

Quando se compara a emissão de GEE devido ao uso do chuveiro a gás e chuveiro elétrico ao longo de um mês, percebe-se que a queima de Gás Natural tem emissões maiores que o uso do chuveiro elétrico. Apesar de esta comparação parecer trivial no contexto elétrico brasileiro, quando se compara a emissão com base na matriz de fontes primárias do setor elétrico de outros países, a utilização de eletricidade emite mais que a queima de Gás Natural ou GLP. Desta forma, no Brasil, apesar de o Gás Natural resultar em menores custos para aquecimento de água para banho, e maior eficiência energética acumulada, ele é menos vantajoso em relação ao seu potencial de contribuir com o efeito estufa.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE/USP) pela oportunidade, à CAPES, ao CNPq pelo financiamento das pesquisas e aos contribuintes do Estado de São Paulo, que financiam a Universidade de São Paulo (USP) – uma universidade pública, gratuita e de excelência.

## **REFERÊNCIAS**

AES ELETROPAULO. **Custo da energia elétrica**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.aeseletpaulo.com.br/poder-publico/prazos-e-tarifas/paginas/tarifa-de-energia-eletrica.aspx>>. Acesso em: 26 Agosto 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Fatores de conversão, densidades e poderes caloríficos inferiores**. Brasília: ANP, 2017.

ALMEIDA, M. D. A. et al. Aplicabilidade da classificação dos resultados de enfermagem em pacientes com déficit no autocuidado: banho/higiene. **Revista Gaúcha de Enfermagem**, v. 31, n. 1, 2010.

BRANDER, M. et al. Electricity-specific emission factors for grid electricity. **Econometrica**, ago. 2011.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Fator médio – Inventários corporativos**. Brasília: [s.n.].

BRASIL. Ministérios de Indústria, Comércio, Minas e Energia. Portaria Interministerial nº 1.877, de 30 de Dezembro de 1985. Brasília: [s.n.], 1985.

COMGÁS. **Tarifas do Gás Natural Canalizado**. Disponível em: <<https://www.comgas.com.br/tarifas/>>. Acesso em: 23 out. 2017.

CORREIA, P. J.; CULCHESK, A. S.; REGO, E. E. Is The Energy Tariff Expensive For Captive. **IEEE Latin America Transactions**, v. 14, n. 11, p. 4506-4511, nov. 2016.

D' ARAÚJO, R. P. **Setor elétrico brasileiro: Uma aventura mercantil**. Brasília: Pensar o Brasil – Construir o Futuro da Nação, 2009.

ELETROBRAS. **Procel Edifica**. Brasília: [s.n.], 2003.

ELETROBRAS. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005: classe Residencial Relatório Brasil – Sumário Executivo**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS; PROCEL, 2009. 187 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Avaliação da Eficiência Energética para os próximos 10 anos (2012-2021): nota técnica DEA 16/12**. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro: EPE, 2016. 296 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional: Ano Base 2016**. Rio de Janeiro: EPE, 2017. 296 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2017: Ano base 2016**. Rio de Janeiro: EPE, 2017.

GHISI, E.; GOSCH, S.; LAMBERTS, R. Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy**, v. 35, n. 8, p. 4107-4120, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Tabela de consumo de energia elétrica – chuveiros elétricos**. Ed. 03/2016. São Paulo: Inmetro, 2016.



INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories** – Volume 2: Energy. [S.l.]: IPCC, 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. New York: IPCC, 2014.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. Key world energy statistics. **Internacional Energy Agency**. Paris, p. 78, 2016.

LAFAY, J. M. S. **Análise energética de sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás**. 2005. 173 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SINDIGÁS. **Gás LP no Brasil**. Banho a Gás: mais conforto e menor custo. Vol. 7. São Paulo: [s.n.], 2012.

SOLOMON, S. et al. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **IPCC Fourth Assessment Report**. New York, 2007.

Recebido para publicação em:  
**16 / 10 / 2018**

Aceito para publicação em:  
**02 / 12 / 2018**