



CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Wesley Henrique Alves Barbosa⁽¹⁾

Engenheiro Civil, aluno de Mestrado em Eficiência Energética e Sustentabilidade pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Peter Batista Cheung⁽²⁾

Engenheiro Civil, Mestre e Doutor em Engenharia Civil, Professor do Mestrado em Eficiência Energética e Sustentabilidade pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Andréa Teresa Riccio Barbosa⁽³⁾

Engenheira Eletricista e Administradora de Empresa, Mestre e Doutora em Engenharia Elétrica, Professora do Mestrado em Eficiência Energética e Sustentabilidade pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Jonathan Lyncoln Alves Barbosa⁽⁴⁾

Aluno de graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia – Mestrado de Eficiência Energética e Sustentabilidade – Campo Grande – MS – CEP: 79009-070 – Brasil - Tel: +55 (67) 3345-7497 - Fax: +55 (67) 3345-7491 e-mail: wesleyhbarbosa@gmail.com.

RESUMO

Para reduzir o impacto ambiental e as despesas com energia elétrica, os sistemas de abastecimento de água precisam ser otimizados para que o consumo de energia elétrica seja o menor possível. Dados de consumo de energia de 2003 a 2015 dos sistemas brasileiros foram utilizados para calcular o montante de perdas de energias desses sistemas e comparar seu uso entre o Brasil e outros países. O consumo médio de energia por metro cúbico dos sistemas de distribuição de água brasileiros entre 2003 e 2015 é $0,65 \pm 0,02$ kWh/m³, e o consumo per capita $61,47 \pm 0,97$ kWh/hab.ano (IC 95%, 60,50 - 62,44). Foi verificada forte correlação entre a população abastecida e energia consumida. Com isso, pode-se prever o consumo de energia elétrica pelos mesmos métodos de previsão de crescimento populacional. O montante de perdas de energia elétrica desses sistemas permaneceu constante entre 2003 e 2015, cujo valor é de 4TWh/ano. Cálculos desses indicadores mostram que podem ser obtidas significativas reduções de consumo de energia por meio de ações de redução de perdas de água. Faz-se necessário o incentivo de ações de eficiência energética para melhorar o desempenho destes sistemas e recuperar bilhões de reais que são perdidos anualmente.

PALAVRAS-CHAVE: gestão de água, sistemas de água, consumo energético

INTRODUÇÃO

O Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS) é o maior e mais importante sistema de informações do setor de saneamento brasileiro, e foi criado pelo Governo Federal em 1996. Anualmente gera um relatório com informações sobre o setor de saneamento e tem sido a principal fonte de análise de desempenho dos sistemas de água e esgoto. Essas análises são conduzidas por organizações corporativas, agentes do governo e instituições de pesquisa. Em 2015 foram realizadas consultas em 5.088 municípios brasileiros, que compreendem 169 milhões de habitantes, cerca de 98% da população urbana do Brasil (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2017).

O Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) foi instalado em 1968 de forma experimental e de modo formal em 1971. O censo de 1970 informava que apenas 27 milhões de habitantes eram abastecidos com água potável e quinze anos depois, em 1985, a pesquisa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) assinalava 83 milhões de habitantes. O plano havia conseguido acrescentar neste período um contingente de 56 milhões de habitantes, aproximadamente a população do Reino Unido em 2014. Além disso, o PLANASA contribuiu para que cada brasileiro em 1980 tivesse uma esperança de vida 7 anos maior da que tinha em 1970 (MONTEIRO, 1989). Muitas tentativas anteriores para resolver o desafio do saneamento no país haviam



falhado e o PLANASA foi o primeiro programa a oferecer resultados satisfatórios durante seu período de atividade.

Hoje os maiores problemas dos centros urbanos se devem principalmente à deterioração dos sistemas mais antigos, especialmente na parte de distribuição de água. As dificuldades mais frequentes são os vazamentos e rompimentos, que causam falta de abastecimento de água nas áreas urbanas (TSUTIYA, 2006).

Pode-se compreender os sistemas de abastecimento de água em diversas etapas, entre elas captação, tratamento, transporte, distribuição e cada uma tem importantes implicações energéticas. O consumo de energia elétrica é indispensável na gestão da operação desses sistemas, e representa uma despesa de exploração significativa (SNSA, 2017).

A utilização de energia nestes sistemas é influenciada por vários fatores como a distância até a captação de água, topologia do sistema, topografia da área atendidas (P. DUARTE, 2008) e qualidade da água captada (ANDREW F. COLOMBO, 2005).

De acordo com essas características, observa-se distinção em consumos energéticos entre os vários estados brasileiros (SNSA, 2017). O consumo específico de energia é maior no nordeste do país (SNSA, 2017) pois exige maiores despesas com transporte e tratamento para fornecer água com propriedades desejáveis. Em contrapartida, a região norte tem os menores consumos específicos de energia elétrica do Brasil devido à abundância de mananciais, menores distâncias e qualidade apropriada para consumo (SNSA, 2017).

O envelhecimento gradual dos sistemas de abastecimento reflete na evolução desse índice, tanto nas suas componentes de construção civil como de equipamentos eletromecânicos. A falta de medidas de reabilitação e de manutenção preventiva tem um impacto negativo na eficiência energética dos sistemas, especialmente nos equipamentos eletromecânicos, que são importantes centros de custos de exploração (SNSA, 2017).

Para manter o sistema em nível adequado de operação, o monitoramento e manutenção constante é imprescindível. De acordo com Tsutiya, desde a captação no manancial até a entrega da água tratada ao consumidor final ocorrem vários tipos de perdas de água. Grande parte são causadas por operação e manutenção deficientes das tubulações e gestão comercial inadequada. Vale ressaltar que mesmo os sistemas mais evoluídos como os do Japão possuem um nível considerável de perdas. A existência de tubulações pressurizadas e enterradas, medidores de volume com certo grau de imprecisão, levam naturalmente a se trabalhar com um nível de perdas que será aceitável. O equilíbrio dependerá tanto do ponto de vista econômico e operacional, quanto para a conservação de recursos hídricos (TSUTIYA, 2006).

Embora seja conhecido de longa data que a distribuição de água com vazamentos requer mais energia para manter níveis de serviço adequados, existe uma relativa ausência de literatura a respeito do impacto dos vazamentos no consumo de energia (COLOMBO e KARNEY, 2002). Neste trabalho, analisa-se a nível nacional as principais relações entre energia, população abastecida, índice de perdas e volume abastecido, sem distinção entre sistemas e regiões.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é estimar linha de base para o consumo de energia elétrica perdida nos sistemas de abastecimento de água do Brasil entre 2003 e 2015. Podem ser considerados como objetivos específicos:

- Identificar o consumo médio de energia elétrica per capita nos sistemas de abastecimento de água brasileiros;
- Medir o consumo específico médio de energia elétrica por volume de água produzido.
- Aferir a representatividade média dos sistemas de água no consumo nacional de energia elétrica.

METODOLOGIA UTILIZADA

Esta análise procura explorar o consumo de energia pelos sistemas de água no Brasil e utilizou dados dos anos de 2003 a 2015, publicados pelos SNIS, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e fontes privadas. O consumo será reportado em termos de Watt-hora (Wh) e seus múltiplos (kWh, MWh e TWh).



Foram analisados consumo de energia elétrica por habitante, o consumo de energia elétrica por volume de água, o índice de perdas na distribuição e a participação do saneamento no consumo nacional de energia. O restante desta seção descreve cada passo em mais detalhes.

Consumo de energia elétrica per capita

A análise do consumo de energia elétrica nos sistemas de água per capita descrita neste trabalho utiliza os dados de Consumo Total de Energia Elétrica nos Sistemas de Água (AG028 – SNIS) e População Urbana Residente do (s) Município (s) com Abastecimento de Água (G06A - SNIS) do período 2003 a 2015, cada observação correspondente a um ano. Utiliza-se o pacote ggpubr (KASSAMBARA, 2017) do software RStudio (R CORETEAM, 2017) para realizar o teste de normalidade Shapiro-Wilk. Esse teste pode ser realizado da seguinte forma: hipótese nula indica que os dados têm distribuição normal; hipótese alternativa indica que os dados não têm distribuição normal. O teste de Shapiro-Wilk para as variáveis AG028 e G06A daquele período indica que os dados não diferem significativamente da distribuição normal com valores-p 0,5806 e 0,5855, respectivamente.

Para avaliar a correlação entre energia elétrica e consumo per capita utiliza-se a função ggscatter do pacote anterior (KASSAMBARA, 2017). Existe forte correlação estatisticamente significativa entre consumo de energia e população atendida. O Coeficiente de correlação Pearson de energia elétrica versus população atendida é 0,97 com valor-p < 0,001. Com essas premissas verificadas, o consumo de energia elétrica per capita será definido pela divisão do indicador AG028 pelo indicador G06A.

Representatividade dos sistemas de água no consumo nacional de energia elétrica

A participação do saneamento na produção nacional de energia é calculada por meio da relação entre AG028 - SNIS e energia elétrica consumida no Brasil entre os anos 2003 a 2015, obtidos do Anuário de Energia Elétrica, publicado anualmente pelo Ministério de Minas e Energia. Utiliza-se o pacote ggpubr (KASSAMBARA, 2017) do software RStudio (R CORETEAM, 2017) para realizar o teste de normalidade Shapiro-Wilk. O teste de Shapiro-Wilk para a variável energia elétrica consumida no Brasil entre 2003 e 2015 indica que a série de dados não difere estatisticamente da distribuição normal com valor-p 0,5944.

Para avaliar a correlação entre energia elétrica consumida no Brasil e a variável AG028 utiliza-se a função ggscatter (R CoreTeam, 2017). Existe forte correlação estatisticamente significativa entre consumo brasileiro de energia elétrica e consumo de energia nos sistemas de água. O Coeficiente de correlação Pearson é 0,94 com valor-p < 0,001. Com essas premissas verificadas, a representatividade dos sistemas de água no consumo nacional de energia elétrica será definida como a razão entre AG028 e o consumo nacional de energia elétrica.

Consumo específico de energia

O índice consumo específico de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água é definido como a soma total de energia elétrica dividida (AG028 – SNIS) pela soma do total de água produzida e importada (AG006 e AG018). Foi realizada o teste de normalidade Shapiro-Wilk para a variável soma de água produzida e importada e a série de dados não difere estatisticamente da distribuição normal com valor-p < 0,001. O Coeficiente de Correlação Pearson entre essas variáveis é 0,97 com valor-p < 0,001.

Energia perdida

De acordo com a metodologia do SNIS, calcula-se as perdas (%) segundo a equação (1)

$$IPD = \frac{AG06+AG018-AG10-AG024}{(AG06+AG018-AG024)} \quad \text{equação (1)}$$

Onde, IPD: Índice de perdas da distribuição, em %:

AG006: Volume de água produzido, em 10^9 m³/ano

AG010: Volume de água consumido, em 10^9 m³/ano

AG018: Volume de água tratada importado, em 10^9 m³/ano

AG024: Volume de serviço, em 10^9 m³/ano



Por definição, a potência do escoamento numa secção de um sistema em pressão é dada por (QUINTELA, 2000):

$$Pe = \gamma \cdot Q \cdot H \quad \text{equação (2)}$$

Sendo,

Pe: potência do escoamento (W);

γ : peso específico da água (N/m³);

Q: vazão escoado (m³/s);

H: carga hidráulica na seção em relação a um dado referencial (m.c.a.).

Se considerarmos a potência do escoamento durante um tempo (T) qualquer, podemos fazer a verificação:

$$Pe \cdot T = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot T \quad \text{equação (3)}$$

$$E = (\gamma \cdot H) \cdot v \quad \text{equação (4)}$$

$$E \sim k \cdot v \quad \text{equação (5)}$$

Sendo,

k = constante,

v = volume de água.

Dessa forma, admitimos que a energia para realizar trabalho em um fluido é diretamente proporcional ao volume de água transportado.

Para avaliar a energia consumida nos sistemas de abastecimento estabelecemos que essa variável tem duas parcelas principais: energia perdida e energia utilizada. A primeira, proporcional ao volume perdido de água e a restante, correspondente ao volume utilizado para atender as necessidades de água de determinada população.

$$Eg = Ep + Eu \quad \text{equação (6)}$$

Considerou-se que a energia é diretamente proporcional ao volume de água transportado e proporcional ao volume perdido de água, assumimos que energia perdida é igual ao produto do índice de perda de água (em porcentagem) pelo consumo de energia, conforme (7) e (6).

$$Ep = IPD \cdot Eg \quad \text{equação (7)}$$

Sendo,

Ep: Energia perdida; em TWh/ano;

Eu: Energia utilizada, em TWh/ano;

Eg: Energia consumida, em TWh/ano;

IPD: Índice de perdas na distribuição, em porcentagem.

RESULTADOS OBTIDOS

Consumo de energia elétrica per capita

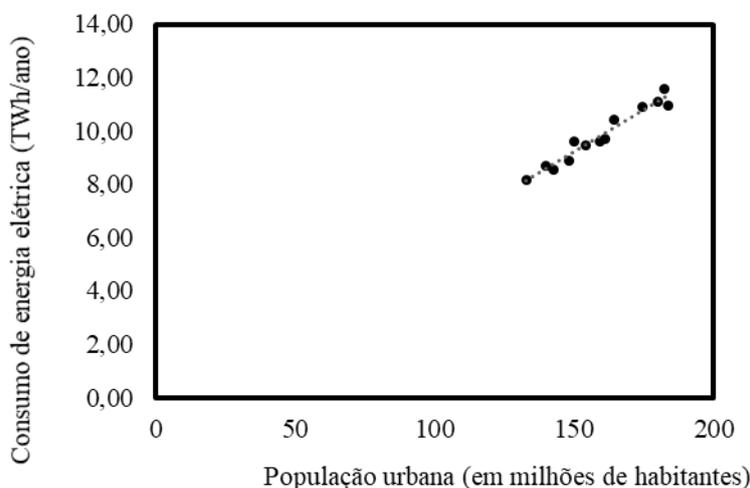
Os resultados de consumo de energia elétrica per capital (Tabela 1) foram realizados por meio de relações básicas entre o consumo de energia e a população urbana residente nesses sistemas. Os resultados da Tabela 1 mostram que o consumo per capita é relativamente constante (apresentado em Figura 1), com crescimento médio de 1% entre 2003 e 2015, com os seguintes valores: $61,47 \pm 0,97 \text{ kWh/hab.}$ (IC 95%, 60,50 - 62,44).



Tabela 1: Consumo de energia elétrica por habitante dos municípios brasileiros com abastecimento de água que fazem parte da pesquisa do SNIS, entre 2003 e 2015.

Ano	População urbana residente (milhões de habitantes) (G06A)	Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água (TWh/ano) (AG028)	Consumo de energia elétrica por habitante (KWh por habitante)
2003	132,86	8,14	61,25
2004	139,83	8,71	62,28
2005	142,84	8,52	59,66
2006	148,35	8,86	59,71
2007	150,19	9,61	63,96
2008	154,00	9,44	61,31
2009	159,28	9,62	60,39
2010	161,16	9,70	60,16
2011	164,17	10,43	63,53
2012	174,72	10,88	62,25
2013	179,87	11,08	61,58
2014	182,50	11,57	63,42
2015	183,95	10,96	59,60

Ao realizar regressão linear tem-se forte indicação de correlação entre consumo de energia e população residente ($R^2 = 0,9492$, $p < 0,001$), como pode-se ver em Figura 1.



- Soma de AG028 Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água (TWh/ano)

Figura 1- Gráfico da relação entre consumo de energia elétrica dos sistemas de abastecimento de água que fazem parte da pesquisa do SNIS entre 2003 e 2015 e população atendida por esses sistemas. O Coeficiente de Correlação Pearson indica forte correlação entre consumo de energia e população. ($R=0,97$, $p < 0,001$).

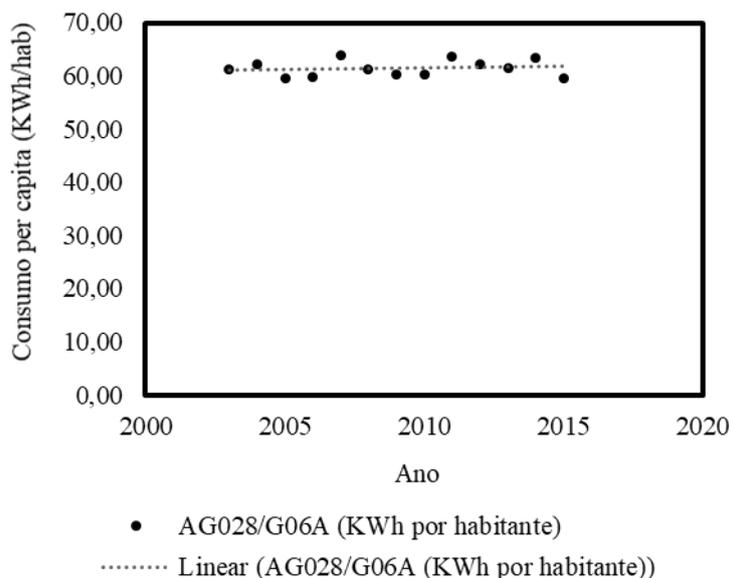


Figura 2 - Consumo em kWh por habitante com comportamento aproximadamente constante, dos sistemas de água que fazem parte da pesquisa do SNIS entre 2003 e 2015. Valor anual médio de $61,47 \pm 0,97$ kWh/hab. (IC 95%, 60,50 - 62,44).

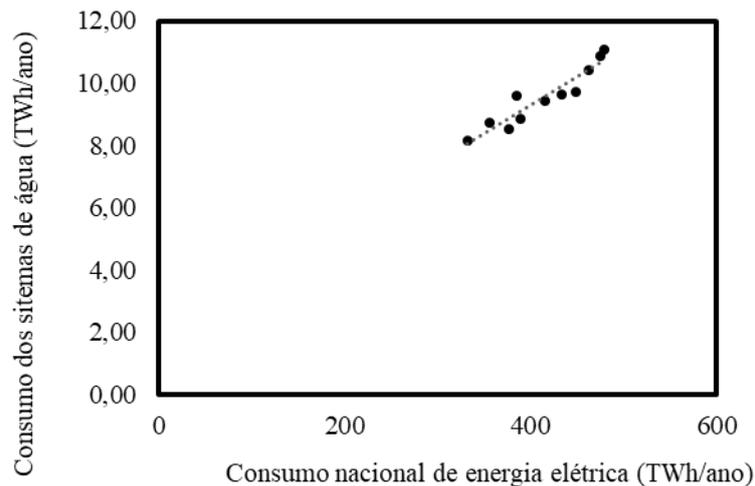
Representatividade dos sistemas de água no consumo nacional de energia elétrica

Tabela 2- Participação do consumo de energia elétrica dos sistemas de abastecimentos brasileiros que fazem parte da pesquisa do SNIS, entre 2003 a 2015.

Ano	Consumo energia Brasil (TWh)	Soma de AG028 - Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água (1.000 kWh/ano)	Participação dos sistemas de distribuição de água no consumo nacional (%)
2005	332	8,14	2,45%
2006	356	8,71	2,45%
2007	377	8,52	2,26%
2008	388	8,86	2,28%
2009	384	9,61	2,50%
2010	416	9,44	2,27%
2011	433	9,62	2,22%
2012	448	9,70	2,16%
2013	463	10,43	2,25%
2014	475	10,88	2,29%
2015	479	11,08	2,31%

Conforme observado na Tabela 2, a participação do consumo de energia elétrica dos sistemas de água representou em média 2,3% do consumo nacional de energia entre 2003 e 2015.

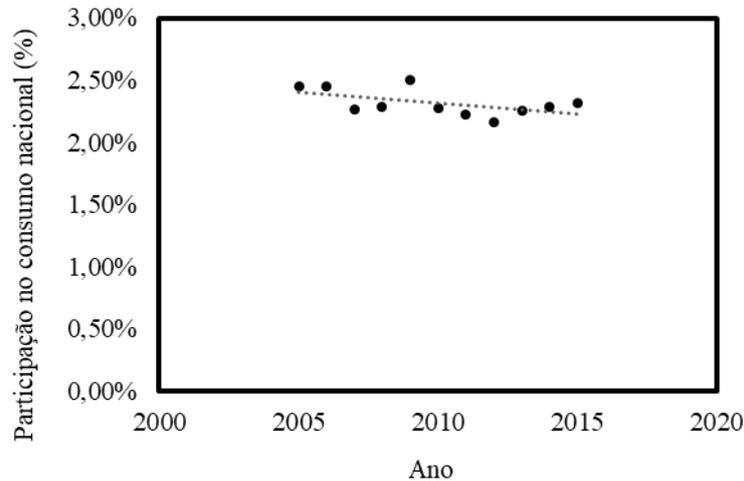
A análise de regressão linear entre o consumo de energia em água e consumo de energia no Brasil indica comportamento linear (significância $p < 0,001$ e $R^2 = 0,8824$), como pode-se ver em Figura 3.



- Soma de AG028 - Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água (1.000 kWh/ano)

Figura 3 - Gráfico da relação entre consumo de energia nos sistemas de abastecimento de água dos municípios que fazem parte da pesquisa do SNIS entre 2003 e 2015 e consumo brasileiro de energia elétrica. Análise de regressão linear simples indica forte correlação entre as variáveis (significância $p < 0,001$ e $R^2 = 0,8824$).

Pode-se observar comportamento decrescente na participação dos sistemas de água no consumo nacional de energia elétrica, conforme Figura 4.

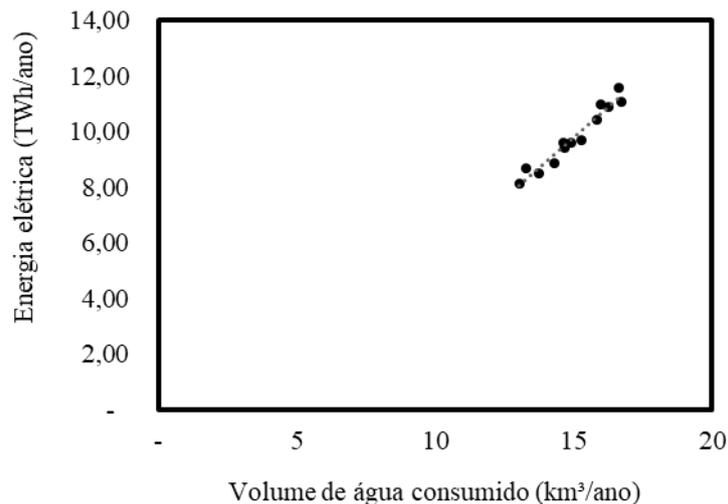


- Participação dos sistemas de água no consumo nacional (%)

Figura 4 - A participação do consumo de energia elétrica dos sistemas de distribuição de água dos municípios brasileiros que participaram da pesquisa do SNIS entre 2003 e 2015 no consumo nacional de energia elétrica é de aproximadamente 2,3%.

Energia elétrica e volume de água

Por meio de regressão linear simples tem-se forte correlação entre a quantidade de energia despendida e volume de água produzido e importado ($R^2 = 0,9489$, $p < 0,001$) conforme Figura 5.



- Soma de AG028 - Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água (TWh)

Figura 5 - Gráfico do consumo de energia nos sistemas de abastecimento de água dos municípios que fazem parte da pesquisa do SNIS entre 2003 e 2015 e volume de água produzido e importado desses municípios em bilhões de m³. A análise de regressão linear indica forte correlação entre energia consumida e volume de água produzido ($R^2: 0,9489$ e $p < 0,001$).

Pode-se observar o comportamento da evolução do indicador de consumo específico de energia no abastecimento de água em abrangência nacional pela Figura 6. O consumo específico médio de energia elétrica dos municípios que responderam à pesquisa do SNIS entre 2003 e 2015 é de $0,65 \pm 0,02 \text{ kWh/m}^3$.



- Energia específica Linear (Energia específica)

Figura 6 - Evolução do consumo específico de energia (IN058) no abastecimento de água em abrangência nacional de acordo com as informações dos prestadores de serviços participantes do SNIS, de 2003 a 2015



Energia perdida e energia utilizada

Por meio das informações: volume produzido, volume consumido, volume importado e volume de serviço dos sistemas de água dos municípios que fazem parte do SNIS, podemos calcular o índice de perdas na distribuição em abrangência nacional (Tabela 3)

Tabela 3 – índice de perdas na distribuição dos sistemas de abastecimento de água dos municípios brasileiros que fazem parte da pesquisa do SNIS, entre 2003 e 2015.

Ano	Volume produzido (10 ⁹ m ³ /ano) (AG006)	Volume consumido (10 ⁹ m ³ /ano) (AG010)	Volume de água tratada importado (1.000 m ³ /ano) (AG018)	Volume de serviço (1.000 m ³ /ano) (AG024)	Índice de perdas na distribuição (IN049)
2003	12,70	7,14	0,35	0,30	44,01%
2004	12,96	7,13	0,35	0,37	44,91%
2005	13,37	7,51	0,36	0,41	43,67%
2006	13,94	7,79	0,35	0,43	43,81%
2007	14,29	8,14	0,37	0,46	42,63%
2008	14,30	8,36	0,37	0,44	41,22%
2009	14,52	8,42	0,40	0,44	41,87%
2010	14,89	9,01	0,41	0,54	38,96%
2011	15,42	9,36	0,42	0,55	38,83%
2012	15,86	9,88	0,42	0,61	36,95%
2013	16,12	10,14	0,59	0,62	36,95%
2014	15,99	10,13	0,62	0,62	36,67%
2015	15,38	9,72	0,59	0,61	36,70%

Com os índices de perdas (Tabela 3) e os consumos de energia (Tabela 2), obtém-se as parcelas de energia perdida e energia utilizada na distribuição de água (Tabela 4).

Tabela 3- Energia perdida e energia utilizada dos sistemas de distribuição de água quem fazem parte da pesquisa do SNIS entre 2003 e 2015.

Ano	Energia perdida (TWh)	Energia utilizada (TWh)
2003	3,58	4,56
2004	3,91	4,80
2005	3,72	4,80
2006	3,88	4,98
2007	4,09	5,51
2008	3,89	5,55
2009	4,03	5,59
2010	3,78	5,92
2011	4,05	6,38
2012	4,02	6,86
2013	4,09	6,98
2014	4,24	7,33
2015	4,02	6,94

Observa-se que a energia perdida mantém um patamar aproximadamente constante de $3,95 \pm 0,11$ TWh por ano. Por meio das informações da Tabela 4, é gerado o gráfico (Figura 7) de energia perdida e energia utilizada nos sistemas de abastecimento de água em abrangência nacional de acordo com as informações dos prestadores de serviços participantes do SNIS.

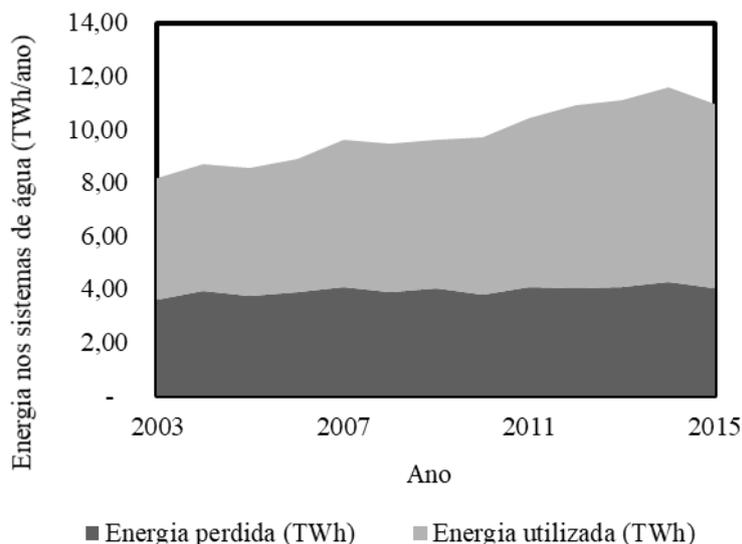


Figura 7 - Evolução das parcelas de energia elétrica consumida nos sistemas de água que fazem parte da pesquisa do SNIS entre os anos 2003 e 2015. Em tom cinza escuro energia perdida, e em tom cinza claro energia utilizada. A energia perdida mantém patamar de $3,95 \pm 0,11$ TWh/ano. (IC 95%, 3,84 - 4,06), equivalente a dois bilhões de reais anualmente.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta seção discute os resultados em nível nacional e utiliza os métodos discutidos na seção 3. Os dados do uso da energia para sistemas de distribuição de água são mostrados nas Tabela 1, Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4.

Antes de comparar diferentes regiões do mundo, alguns pontos devem ser considerados. Primeiro, este estudo no Brasil não inclui a energia utilizada para aquecer água aos padrões de potabilidade. Segundo, um número de estudos disponíveis não considera o uso de energia nos sistemas de água e tratamento de esgoto separadamente. Essa característica torna problemática quando se compara a energia utilizada para sistemas de água como uma porcentagem do total de consumo de energia elétrica.

Energia e população

Fora observado que o consumo de energia cresce diretamente proporcional ao crescimento populacional. Com isto, entende-se que o consumo de energia nos sistemas de distribuição de água pode ser descrito pelos mesmos modelos de previsão de crescimento populacional.

O consumo energético por habitante manteve-se constante ao longo da última década no valor de $61,5 \pm 1,0$ kWh por ano (IC 95%, 60,5 - 62,5). Em 2011, o consumo médio de energia por habitante para sistemas de distribuição urbanos chineses foi 33,2 kWh/hab.ano (SMITH, LIU, et al., 2015). Em sistemas indianos este indicador foi de 18 ± 11 kWh/hab.ano (MILLER, RAMASWAMI e RANJAN, 2013).

Representatividade da energia

A base de informações sobre a participação do consumo de energia elétrica dos sistemas de água no consumo nacional de energia não é extensa, porém alguns temas e variações são encontradas. Em termos de participação as evidências disponíveis sugerem que 2 a 3% do consumo mundial de energia é utilizado para bombeamento e tratamento de água para a população urbana e indústrias. Quando observado em abrangência regional, a literatura sugere que aproximadamente 3,7% (ZHOU, ZHANG, et al., 2013) do consumo de energia da cidade chinesa de Changzhou corresponde à utilização pelos sistemas de água; e 3,0% do consumo de energia do



estado da Califórnia (CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, 2005). O consumo de energia dos sistemas de água da China representa 0,22% do total de consumo de energia.

Consumo específico de energia

A análise de regressão linear indica forte correlação entre energia consumida e volume de água produzido. O consumo específico de energia médio é de $0,65 \pm 0,02 \text{ kWh/m}$ ($R^2: 0,9489$ e $p < 0,001$). Fontes da literatura indicam que o consumo específico de energia nos sistemas de água do estado da Califórnia, nos Estados Unidos, varia entre 0,38 e $2,70 \text{ kWh/m}^3$ nas Carolinas do Norte e Carolina do Sul, respectivamente (CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, 2005). O consumo específico de energia para sistemas de distribuição de água chineses em 2011 foi de $0,29 \text{ kWh/m}^3$ (SMITH, LIU, et al., 2015); enquanto em sistemas indianos $0,30 \text{ kWh/m}^3$ (MILLER, RAMASWAMI e RANJAN, 2013).

Energia perdida

Embora tenha-se observado ligeiro decréscimo no indicador de perdas totais de água (Tabela 3), a linha de base do potencial de redução de perdas de energia elétrica manteve-se constante entre 2003 e 2015 anos com valor $3,97 \pm 0,12 \text{ TWh/ano}$ (IC 95%, 3,86-4,09). Não foram encontradas na literatura fontes disponíveis para comparação.

CONCLUSÕES

Não foi observada redução de consumo de energia por habitante no período avaliado, mesmo com a implantação de políticas de eficiência energética. Esse índice manteve-se aproximadamente constante entre 2003 e 2015, com valor médio de $61,50 \text{ kWh/hab}$. O mesmo comportamento é observado na parcela de energia perdida nos sistemas de distribuição.

A linha de base de perdas de energia é de aproximadamente 4 TWh/ano e equivale ao consumo de 800 mil residências por aproximadamente um ano. Ano após ano, o índice de perdas na distribuição reduz, mas a quantidade de energia perdida permanece a mesma. Embora os sistemas de distribuição tenham pequena participação no consumo nacional de energia elétrica, cerca de 2,3%, é imprescindível que sejam incentivadas ações de eficiência energética. Os benefícios da redução de consumo de energia são da ordem de bilhões de reais por ano.

Faz-se necessário o compartilhamento de responsabilidades entre o poder público e os prestadores de serviços para incentivar a utilização sustentável dos recursos. Com a melhora de desempenho desses sistemas, o Brasil poderá aumentar a expectativa de vida da população, reduzir os impactos ambientais e fortalecer sua economia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALLIANCE TO SAVE WATER. *Watergy: Taking Advantage of Untapped Energy and Water Efficiency Opportunities in Municipal Water Systems*. USAID. Washington, p. 140. 2002.
2. ANDREW F. COLOMBO, B. W. K. *Impacts of Leaks on Energy Consumption in Pumped Systems with Storage*. *JOURNAL OF WATER RESOURCES PLANNING AND MANAGEMENT*, v. 131, n. 2, p. 146-155, março 2005.
3. BANCO CENTRAL DO BRASIL. SGS - Sistema Gerenciador de Séries Temporais. Banco Central do Brasil, 08 maio 2017. ISSN SGSFW0101. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/localizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries>. Acesso em: 08 maio 2017.
4. C. JONES, S.; ROBERT, B. S. *QUANTIFYING ENERGY USE IN THE U.S. PUBLIC WATER INDUSTRY - A SUMMARY*. ASCE - American Society of Civil Engineer, Salt Lake City, Utah, 16, n. 4, 2014.
5. CALIFORNIA ENERGY COMMISSION. *California's Water – Energy Relationship*. California Energy Commission. [S.l.], p. 180. 2005. (CEC-700-2005-011-SF). FINAL STAFF REPORT.



6. COLOMBO, A. F.; KARNEY, W. B. *Energy and Costs of Leaky Pipes: Toward Comprehensive Picture. Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 6, p. 441-450, Novembro 2002. ISSN 0733-9496(2002)128:6(441).
7. GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. Informações Energéticas do Estado do Espírito Santo. Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo. Estado do Espírito Santo, p. 20. 2016.
8. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação. IBGE, 06 maio 2017. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 06 maio 2017.
9. KASSAMBARA, A. ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots, 2017. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=ggpubr>>. Acesso em: 10 maio 2018.
10. KENNY, J. F. B. N. L. H. S. L. K. S. L. J. K. A. M. M. A. *Estimated use of water in the United States in 2005. U.S. Geological Survey Circular, Reston, Virginia*, 2009. 52.
11. MILLER, L.; RAMASWAMI, A.; RANJAN, R. *Contribution of Water and Wastewater Infrastructures to Urban Energy Metabolism and Greenhouse Gas Emissions in Cities in India. Journal of Environmental Engineering*, 1 maio 2013. 738-745.
12. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2015. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Brasília, p. 212. 2017. (CDD 352.6).
13. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Anuário Estatístico de Energia Elétrica. Governo Federal. [S.l.], p. 232. 2016.
14. MONTEIRO, J. R. D. R. Análise de desempenho - Planasa. Seminário sobre Inovação e Desenvolvimento de Empresas de água Potável. S. Jose da Costa Rica: [s.n.]. 1989. p. 12.
15. P. DUARTE, H. A. D. I. C. C. Avaliação de desempenho energético em sistemas de abastecimento de água. VIII Seminário Ibero-Americano. Lisboa: [s.n.]. 2008. p. 17.
16. PABI, S. A. G. R. L. *Electricity Use and Management in the Municipal Water Supply and WasteWater Industries. Electric Power Research Institute, Water Research Foundation. Pablo Alto, Califórnia*, p. 194. 2013. (3002001433).
17. QUINTELA, A. C. Hidráulica. 7ª edição. ed. Lisboa: [s.n.], 2000.
18. R CORETEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. 2017.
19. SMITH, K. et al. *Impact of urban water supply on energy use in China: a provincial and national comparison. Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 9 março 2015.
20. SNSA, B. M. D. C. S. N. D. S. A.-. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2015. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017.
21. TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, v. XIII, 2006.
22. ZHOU, Y. et al. Drops of Energy: *Conserving Urban Water to Reduce Greenhouse Gas Emissions. Environmental Science & Technology, Washington*, 11 junho 2013. 32.