



## INDICADORES DE REFERÊNCIA HIDROENERGÉTICOS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Giovani, CAMPONOGARA<sup>1</sup>; Joice, KURITZA<sup>2</sup>, Guilherme, CASTIGLIO<sup>3</sup>; Rute, FERLA<sup>4</sup>,  
Marcelo Giulian, MARQUES<sup>5</sup>, Eder Daniel, TEIXEIRA<sup>6</sup>; João, DE BORJA<sup>7</sup>.

<sup>1</sup> Eng. Mecânica, Estudante - IPH/UFRGS, Porto Alegre – RS, Brasil, [giovani.camponogara@ufrgs.br](mailto:giovani.camponogara@ufrgs.br);

<sup>2</sup> Eng. Ambiental, Doutoranda - IPH/UFRGS, Porto Alegre – RS, Brasil, [joicekuritza@gmail.com](mailto:joicekuritza@gmail.com);

<sup>3</sup> Eng. Energia, Estudante - IPH/UFRGS, Porto Alegre – RS, Brasil, [guilhermecastiglio@gmail.com](mailto:guilhermecastiglio@gmail.com);

<sup>4</sup> Eng. Civil, Mestranda - IPH/UFRGS, Porto Alegre – RS, Brasil, [ruteferla@hotmail.com](mailto:ruteferla@hotmail.com);

<sup>5</sup> Professor Titular, Ph D. – IPH/UFRGS, Porto Alegre – RS, Brasil, [mmarques@iph.ufrgs.br](mailto:mmarques@iph.ufrgs.br);

<sup>6</sup> Professor Titular, Ph D. – IPH/UFRGS, Porto Alegre – RS, Brasil, [eder.teixeira@ufrgs.br](mailto:eder.teixeira@ufrgs.br);

<sup>7</sup> Eng. Civil, Doutorado - IPH/UFRGS, Porto Alegre – RS, Brasil, [joao\\_gerdaudeborja@hotmail.com](mailto:joao_gerdaudeborja@hotmail.com);

### Resumo

No Brasil existem diversos programas que visam tornar os sistemas de abastecimento de água mais eficientes do ponto de vista hidroenergético. Os indicadores de desempenho são importantes para avaliação dos resultados da alocação dos recursos financeiros e humanos em busca de melhorias na prestação desse serviço. Entretanto, na maioria das vezes, os indicadores utilizados pelos prestadores de serviços de abastecimento e distribuição de água são analisados superficialmente, muitas vezes de forma global e puramente administrativa, sem se deter no seu significado físico. No Brasil, o único indicador operacional do Sistema Nacional de Informações do Saneamento (SNIS) relacionado diretamente à eficiência energética de SAA é o índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água (IN058), expresso em kWh/m<sup>3</sup>. Portanto, o objetivo deste trabalho é propor uma análise física dos indicadores de maneira que possibilite maior entendimento dos parâmetros envolvidos. Essa análise permite que valores mínimos teóricos sejam calculados. De posse desses valores, a equipe de gestão das companhias pode definir metas mais realistas e alcançáveis, além de identificar as maiores oportunidades de intervenção com vistas à eficiência energética. São apresentados dois estudos de caso baseados em dados de campo coletados em sistemas reais de abastecimento de água, a interpretação física dos indicadores e comparação dos valores dos indicadores clássicos com seus valores mínimos teóricos.

**Palavras-chave:** Sistemas de Abastecimento de água, Indicadores hidroenergéticos, eficiência energética

**Tema:** Governança e participação pública para a gestão da água.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2016, o consumo de energia elétrica no serviço público brasileiro é de 42,7 TWh ou o equivalente a 6,9% do total distribuído (BRASIL, 2016). No saneamento, o consumo de energia elétrica anual é de 11 TWh (BRASIL, 2016), que representam 26% do consumo pelo serviço público e 2% do consumo nacional de energia elétrica. Conforme Gomes (2009), a ineficiência energética estimada em sistemas de bombeamento assume percentuais da ordem de 25 a 30%, assim, ações voltadas à redução do consumo de energia nesse setor são importantes no cenário econômico-energético atual.

No Brasil, atualmente, diversos programas e projetos visam à eficiência energética e à redução do consumo de água e energia no saneamento, a saber, PROCEL SANEAR - Programa de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental (BRASIL, 2017), PNCD - Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, PMSS - Programa de Modernização do Setor de Saneamento, Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água (ProEESA), Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental - ReCESA e rede LENHS – Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (BRASIL, 2016).

Para avaliar se as intervenções realizadas por tais programas e projetos são efetivas, é necessário medir e acompanhar os parâmetros hidroenergéticos dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA). Dessa forma, é importante dispor de grupos específicos de indicadores hidroenergéticos e, principalmente, ter conhecimento dos parâmetros de influência sobre eles. Assim, o presente trabalho tem por objetivo analisar a atual abordagem referente aos indicadores hidroenergéticos e identificar os seus valores mínimos teóricos.

## 2. INDICADORES HIDROENERGÉTICOS

Segundo Alegre et al. (2006), um indicador de desempenho é uma medida quantitativa de um aspecto particular do desempenho da entidade gestora ou do seu nível de serviço. É um instrumento de apoio à monitorização da eficiência e da eficácia da entidade gestora e pode simplificar uma avaliação que, de outro modo, seria mais complexa e subjetiva. Além de servir de apoio à gestão, os indicadores hidroenergéticos podem ser vinculados à *baseline* de contratos de performance (IFC, 2013) e selos de eficiência energética (BRASIL, 2008).

Conforme Teixeira et al. (2016), a Entidade Regulatória dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR) de Portugal implementou um sistema de avaliação de performance das entidades administradoras que usa um grupo de indicadores, permite o benchmarking e avalia a regulação e qualidade do serviço. Porém, no Brasil, o único indicador operacional do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), relacionado diretamente à eficiência energética de SAA's, é o índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água (IN058), expresso em kWh/m<sup>3</sup>, além de indicadores econômicos de participação da energia elétrica nas despesas operacionais (VILANOVA, 2012).

Gomes (2009) recomenda, para diagnósticos hidroenergéticos em sistemas de bombeamento, os seguintes indicadores hidroenergéticos operacionais e financeiros: consumo específico, consumo específico normalizado, consumo específico normalizado por

quilômetro de adutora, fator de carga, custo médio de energia elétrica e custo médio de energia elétrica por metro cúbico. Vilanova (2012) aponta que os indicadores de desempenho em SAA, presentes na literatura, contemplam de forma superficial o uso da energia elétrica, geralmente por meio do cálculo de consumos específicos (intensidades energéticas) globais. Nessa abordagem, a unidade de análise hidráulica/energética é o próprio sistema, e seus indicadores constituem, na verdade, índices resultantes de inúmeros processos intermediários que fornecem poucos subsídios para o gerenciamento, uma vez que as variáveis associadas ao uso da energia elétrica e da água não são discretizadas.

Os indicadores propostos pelo IWA são um bom ponto de partida de avaliação de um SAA, mas nem sempre são suficientes para estabelecer diagnósticos, comparar alternativas, definir prioridades de atuação e monitorizar a implantação de planos, de programas ou de medidas de gestão de energia (DUARTE et al., 2008), uma vez que não fornecem informação sobre o potencial de redução de energia que resulte do controle de outros aspectos, como perdas de água e gestão de pressões, por exemplo. Além disso, nenhum destes indicadores permite avaliar a eficiência energética do sistema como um todo (DUARTE et al., 2008).

Alegre (1992) apud Duarte et al. (2008) propôs o desenvolvimento de conceitos de energia mínima e de energia supérflua para a comparação da situação atual com a situação ideal teórica de um SAA. Nesse conceito, compara-se a potência fornecida com a potência mínima e a potência em excesso. A potência mínima corresponde ao somatório das potências mínimas requeridas em cada nó, de modo a satisfazer os respectivos consumos e os requisitos mínimos de pressão, e a potência em excesso corresponde à diferença entre a potência fornecida e a potência mínima. A partir da razão entre a potência fornecida e a potência mínima é calculado o índice E3 (razão de energia em excesso).

Para assimilar os valores admissíveis e o acompanhamento temporal de um indicador hidroenergético é interessante identificar o que este representa fisicamente. Para isso, é apresentado um conjunto de equações para a estimativa da potência de escoamento em uma seção, da potência elétrica, da energia elétrica, da altura manométrica e dos custos de energia elétrica que os envolvem, com o intuito de identificar os parâmetros função de tais características.

Todas as equações empregadas neste artigo utilizaram os símbolos e as unidades apresentadas na **Tabela 1**.

### **Potência do escoamento em uma seção**

A potência do escoamento em uma seção de um sistema em pressão é determinada pela equação 1 (QUINTELA, 2000; apud DUARTE et al., 2008):

$$P_e = \frac{1}{1000} \gamma QH \quad (1)$$

### **Potência elétrica**

Segundo Gomes (2009), a potência elétrica requerida da rede elétrica por um conjunto motobomba pode ser expressa pela equação 2:

$$P = \frac{1}{1000} \frac{\gamma QH}{\eta_b \eta_m} \quad (2)$$

**Tabela 1** - Símbolos e unidades usadas na formulação.

Nome	Símbolo	Unidade	Nome	Símbolo	Unidade
Aceleração da gravidade	g	m/s <sup>2</sup>	Adicional de bandeira	R\$/kW/hb	R\$/kW/hb
Altura geométrica	Hg	mca	Altura manométrica	H	mca
Altura manométrica de bombeamento com uso de conversor de frequência	H'	mca	Consumo de energia normalizado	CEN	E/(m <sup>3</sup> xH/100m)
Consumo específico de energia	CE	E/m <sup>3</sup>	Custo médio de energia elétrica	CMEE	R\$/kWh
Custo médio de energia elétrica por m <sup>3</sup> bombeado	CMEM	R\$/m <sup>3</sup>	Demanda contratada	D	kW
Energia	E	kWh	Perda de carga linear	HI	mca
Perda de carga singular	Hs	mca	Peso específico	γ	N/m <sup>3</sup>
Potência de escoamento	Pe	kW	Potência elétrica	P	kW
Rendimento da bomba	nb	-	Rendimento do inversor	ni	-
Rendimento do motor	nm	-	Tarifa de demanda no horário de ponta	R\$/kWp	R\$/kWp
Tarifa de demanda no horário fora da ponta	R\$/kWfp	R\$/kWfp	Tarifa de energia no horário de ponta	R\$/kWhp	R\$/kWhp
Tarifa de energia no horário fora da ponta	R\$/kWhfp	R\$/kWhfp	Tempo de bombeamento	t	h
Tempo de bombeamento no horário de ponta	tp	h	Tempo de bombeamento no horário fora da ponta	tfp	h
Vazão	Q	m <sup>3</sup> /s	Velocidade média de escoamento em uma seção	Ve	m/s
Volume bombeado	V	m <sup>3</sup>			

### Energia elétrica consumida

A energia elétrica utilizada é a potência elétrica integralizada no tempo. Se os parâmetros da potência elétrica forem constantes no tempo, tem-se a equação 3a.

$$E = \frac{1}{1000} \frac{\gamma Q H}{n_b n_m} t \quad (3a)$$

Nos casos do uso de conversor de frequência, os parâmetros da equação 3a não são mais constantes e, adicionalmente, deve ser considerado o rendimento do conversor de frequência no instante de tempo t, conforme equação 3b.

$$E = \frac{1}{1000} \int \frac{\gamma Q H}{n_b n_m n_i} dt \quad (3b)$$

### Altura manométrica

A altura manométrica de uma bomba centrífuga deve ser capaz de vencer os desníveis geométricos, as perdas de carga linear e singular, e, ainda, prover energia mínima no fim de seção de interesse, conforme indica a equação 4.

$$H = H_g + H_l + H_s + \frac{V_e^2}{2g} \quad (4)$$

### Custos de energia

De acordo com a Companhia Estadual de Energia Elétrica do Estado do Rio Grande do Sul - CEEE (2017), a composição do preço a ser aplicado é dada pela seguinte expressão:

$$\text{Preço final} = \frac{\text{Valor da tarifa}}{1 - (\text{PIS}(\%) + \text{COFINS}(\%) + \text{ICMS}(\%))} \quad (5)$$

Onde a tarifa é composta por duas parcelas, uma relativa à demanda contratada (kW) e outra à energia consumida (kWh), ambas referentes ao horário de ponta ou fora da ponta, dependendo da modalidade tarifária da unidade consumidora de energia elétrica. Os impostos variam mensalmente. Dessa forma, os custos da fatura de energia podem ser descritos de acordo com a equação 6.

$$R\$ = \frac{D \left( \frac{R\$}{kW_p} + \frac{R\$}{kWh_{fp}} \right) + \frac{R\$}{kWh_p} P_{tp} + \frac{R\$}{kWh_{fp}} P_{t_{fp}} + \frac{R\$}{kWh_b} P_t}{(1 - \text{ICMS} - \text{PIS} - \text{COFINS})} \quad (6)$$

A equação 6 não apresenta as possíveis multas de demanda de ultrapassagem e de fator de potência que podem ocorrer. Se o sistema de abastecimento for público, há desconto de 15% sobre o preço final, exceto para o preço final da bandeira tarifária.

## 3. METODOLOGIA

A partir da revisão bibliográfica sobre indicadores de desempenho hidroenergéticos e sobre consumo de energia em sistemas de bombeamento foi feita uma análise física e dimensional dos parâmetros envolvidos nos principais indicadores utilizados (CE, CEN, CMEE, CMEM). A partir disso, foram analisados os valores mínimos teóricos admissíveis.

### Consumo Específico De Energia (CE)

O consumo específico de energia representa a quantidade média de energia para elevar 1 metro cúbico de água. Este indicador reflete a eficiência do conjunto motobomba unida à eficiência do sistema hidráulico a jusante da bomba. É útil para acompanhar o desempenho de uma mesma instalação de bombeamento ao longo do tempo, mas não se presta a comparar o desempenho de estações de bombeamento distintas, o que constitui sua principal limitação (GOMES, 2009).

O CE é expresso de acordo com a equação 7.

$$CE = \frac{\text{Consumo de energia}}{\text{Volume bombeado}} \quad (7)$$

### Aplicação em diferentes casos

Para conjunto motobomba sem uso de conversor de frequência, o indicador representa a expressão indicada na equação 8a.

$$CE = \frac{1}{3,6 \times 10^6} \frac{\gamma H}{nb \eta m} \quad (8a)$$

E para sistemas que operam com inversor de frequência, pode ser representado pela equação 8b, a partir da equação 3b dividida pelo volume bombeado.

$$CE = \frac{1}{1000} \frac{\int \frac{\gamma QH}{n_b n_m n_i} dt}{\int Qd} \quad (8b)$$

Para sistemas com mais de um conjunto motobomba operando em diferentes tubulações, conforme apontado por Duarte et al. (2008), quando a avaliação se refere à globalidade do sistema, costuma usar-se como denominador o volume de água entrada, conforme equação 8c.

$$CE = \frac{\sum \text{Consumo de energia}}{\text{Volume entrada no sistema}} \quad (8c)$$

No entanto, nesse caso, perde-se o significado físico, uma vez que são utilizados diferentes processos de uso de energia no sistema.

### Consumo de Energia Normalizado (CEN)

A IWA propôs a adoção do CEN como indicador para contornar a limitação de comparação do CE em relação às alturas manométrica (GOMES, 2009). Segundo a IWA, o consumo de energia normalizado corresponde ao inverso do rendimento do conjunto motobomba.

O CEN é expresso de acordo com a equação 9.

$$CEN = \frac{\text{Consumo de energia}}{\text{Volume bombeado} \times \left(\frac{H}{100}\right)} \quad (9)$$

### Aplicação em diferentes casos

Para conjunto motobomba sem uso de conversor de frequência, matematicamente, ele representa a expressão indicada na equação 10a.

$$CEN = \left(\frac{1}{1000} \frac{\gamma QH}{n_b n_m} t\right) / \left(Qt \frac{H}{100}\right) = \frac{1}{36000} \frac{\gamma}{n_b n_m} \quad (10a)$$

Para sistemas operando com inversor de frequência, fisicamente, representa o indicado na equação 10b.

$$CEN = \frac{1}{1000} \int \frac{\gamma QH}{n_b n_m n_i} dt / V \left(\frac{H'}{10}\right) \quad (10b)$$

O objetivo do CEN é ser independente da altura manométrica do sistema, de modo a representar o inverso do rendimento do conjunto motobomba. Porém, com o uso de conversor de frequência, a altura no denominador não pode ser a altura manométrica da rotação nominal, uma vez que subestima o valor do CEN, (a altura manométrica na maior parte do tempo, com uso de inversor é menor do que a altura manométrica da rotação nominal).

Para sistemas com mais de um conjunto motobomba operando em diferentes tubulações, indica-se a equação 10c.

$$CEN = \frac{\sum \text{Consumo de energia}}{\text{Volume de entrada} \left(\frac{\sum H}{100}\right)} \quad (10c)$$

Onde:

$\sum H$  é a altura total de elevação do sistema.

Assim como no caso do CE, é perdido o significado físico, uma vez que se associam diferentes processos de uso de energia no sistema.

### Custo Médio Da Energia Elétrica (CMEE)

Representa o custo total da unidade de bombeamento por energia utilizada. Nele incidem os impostos, tarifas, multas, energia e demanda utilizada. Para reduzir o CMEE podem ser utilizados meios operacionais e administrativos (GOMES, 2009). Este é representado pela equação 11.

$$CMEE = \frac{\text{Custo (R\$)}}{\text{Energia (kWh)}} \quad (11)$$

### Significado físico para diferentes casos

Representa para conjunto motobomba sem uso de conversor de frequência:

$$CMEE = \frac{D\left(\frac{R\$}{kW_p} + \frac{R\$}{kW_{fp}}\right) + \frac{R\$}{kWh_p} P t_p + \frac{R\$}{kWh_{fp}} P t_{fp} + \frac{R\$}{kWh_b} P t}{(1 - (\text{ICMS} + \text{PIS} + \text{COFIN})) P t} \quad (12a)$$

Com o uso de inversor de frequência:

$$CMEE = \frac{D\left(\frac{R\$}{kW_p} + \frac{R\$}{kW_{fp}}\right) + \frac{R\$}{kWh_{fp}} \int P dt_{fp} + \frac{R\$}{kWh_p} \int P dt_p + \frac{R\$}{kWh_b} \int P dt}{(1 - (\text{ICMS} + \text{PIS} + \text{COFINS})) \int P dt} \quad (12b)$$

Para mais de uma unidade:

$$CMEE = \sum \left( \frac{D\left(\frac{R\$}{kW_p} + \frac{R\$}{kW_{fp}}\right) + \frac{R\$}{kWh_p} P t_p + \frac{R\$}{kWh_{fp}} P t_{fp} + \frac{R\$}{kWh_b} P t}{(1 - (\text{ICMS} + \text{PIS} + \text{COFINS}))} \right) / \sum (P t) \quad (12c)$$

### Custo Médio Por Metro Cúbico Bombeado (CMEM)

Reflete o custo médio para bombear 1 m<sup>3</sup> de água, conforme indicado na equação 13.

$$CMEM = \frac{\text{Custo (R\$)}}{\text{Volume bombeado (m}^3\text{)}} \quad (13)$$

### Significado físico para diferentes casos

Representa para conjunto motobomba sem uso de conversor de frequência:

$$CMEM = \frac{D\left(\frac{R\$}{kW_p} + \frac{R\$}{kW_{fp}}\right) + \frac{R\$}{kWh_p} P t_p + \frac{R\$}{kWh_{fp}} P t_{fp} + \frac{R\$}{kWh_b} P t}{(1 - (\text{ICMS} + \text{PIS} + \text{COFINS})) (Q t)} \quad (14a)$$

Com o uso de inversor de frequência:

$$CMEM = \frac{D\left(\frac{R\$}{kW_p} + \frac{R\$}{kW_{fp}}\right) + \frac{R\$}{kWh_{fp}} \int P dt_{fp} + \frac{R\$}{kWh_p} \int P dt_p + \frac{R\$}{kWh_b} \int P dt}{(1 - (\text{ICMS} + \text{PIS} + \text{COFINS})) \int Q dt} \quad (14b)$$

Para mais de uma unidade:

$$CMEM = \sum \left( \frac{D\left(\frac{R\$}{kW_p} + \frac{R\$}{kW_{fp}}\right) + \frac{R\$}{kWh_p} P t_p + \frac{R\$}{kWh_{fp}} P t_{fp} + \frac{R\$}{kWh_b} P t}{(1 - (\text{ICMS} + \text{PIS} + \text{COFINS}))} \right) / \sum \int Q dt \quad (14c)$$

### Valores mínimos teóricos

Para estimar os valores mínimos teóricos, as perdas de carga do sistema serão desconsideradas, a demanda de potência elétrica contratada será considerada equivalente à demanda utilizada e o rendimento do conjunto motobomba será de 100%. Os valores mínimos teóricos dos indicadores que envolvem custos com energia elétrica são apresentados para 21 horas de bombeamento, sem operar no horário de ponta, e 24 horas de bombeamento, operando 3 horas no horário de ponta de energia elétrica.

As tarifas de energia foram consideradas da CEEE referentes a março de 2017 na modalidade tarifária horária verde A4 podem ser visualizadas na Tabela 2.

**Tabela 2** –Valores das tarifas de energia.

Modalidade tarifária	R\$/kWh <sub>p</sub>	R\$/kWh <sub>fp</sub>	R\$/kW <sub>p</sub>	R\$/kW <sub>fp</sub>
Verde	1,18438	0,25435	13,03	
Azul	34,34	13,03	0,352760	0,254350

### Consumo Específico - CE

Como  $CE = f(\gamma, H, nb, nm)$ , os valores mínimos teóricos podem ser calculados com a equação 8a para diferentes alturas geométricas, cujos resultados estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** - Valores mínimos teóricos do CE para diferentes alturas geométricas.

Hg (m)	0	25	50	75	100	150
CE (kWh/m <sup>3</sup> )	0	0,0681	0,1362	0,2044	0,2725	0,4087

### Consumo específico normalizado - CEN

Como o  $CEN = f(\gamma, nb, nm)$ , os valores mínimos teóricos podem ser calculados com a equação 10a e possui o valor mínimo teórico de 0,2725.

### Custo médio de Energia elétrica - CMEE

Como  $CMEE = f(Q, H, tarifas, impostos, tp, tfp)$ , os valores mínimos teóricos são calculados para diferentes tarifas, impostos, tempos de bombeamento com a equação 11<sup>a</sup>, conforme indicado na Tabela 4.

**Tabela 4** - CMEE mínimo teórico para operação no horário fora da ponta e na ponta com as tarifas da CEEE e impostos referentes ao mês de março/17.

Modalidade tarifária	21h	24h
Horária Azul	0,35	0,53
Horária Verde	0,35	0,47

### Consumo médio de energia por metro cúbico bombeado - CMEM

Como  $CMEM = f(\gamma, H, nb, nm, tp, tfp, tarifas, impostos)$ , podem ser calculados os valores mínimos teóricos para diferentes alturas geométricas com a equação 12<sup>a</sup>, conforme Tabela 5.

**Tabela 5** - Valores mínimos teóricos do CMEM para diferentes alturas geométricas, modalidades tarifárias e tempos de bombeamento.

Modalidade tarifária	Hg = 75m		Hg = 100m	
	21h	24h	21h	24h
Horária Azul	0,0713	0,1090	0,0950	0,1454
Horária Verde	0,0713	0,0959	0,0950	0,1278

#### 4. ESTUDO DE CASO

A partir de dados de dois SAA, cujos diagnósticos hidroenergéticos foram realizados pela rede LENHS, compararam-se os indicadores CE, CEN, CMEE com os valores mínimos teóricos. Os dados gerais de cada sistema são apresentados na **Tabela 6** e a comparação dos indicadores reais e mínimos teóricos na **Tabela 7** e na **Tabela 8**.

**Tabela 6** - Dados gerais de dois SAA diagnosticados pela rede LENHS

SAA	Hg	V (m <sup>3</sup> /ano)	kWh/ano	R\$/ano
SAA 1	59,374	7.372.391	2.160.300	540.852
SAA 2	57,5	1.379.909	975.595	334.548

**Tabela 7** - Comparação dos indicadores reais e mínimos teóricos do SAA 1

Indicador	Real	Mínimo teórico	%Real/Min
CE	0,29	0,162	1,79
CEN*a/b/c	0,50	0,2725	1,83
CMEE	0,25	0,315*	0,79
CMEM	0,07	0,051	1,37

**Tabela 8** - Comparação dos indicadores reais e mínimos teóricos do SAA 2

Indicador	Real	Mínimo teórico	%Real/Min
CE	0,71	0,157	4,52
CEN	0,77	0,2725	2,83
CMEE	0,34	0,264	1,29
CMEM	0,24	0,042	5,71

Os dois SAA apresentados possuem características semelhantes, uma vez que a altura de elevação e a ordem de grandeza do volume bombeado são praticamente as mesmas. A comparação entre os indicadores reais apresentados não revela informações relevantes a

respeito da qualidade do sistema, entretanto, quando se compara a relação entre os indicadores reais e mínimos dos dois SAA's, o SAA 1 se mostra mais eficiente que o SAA 2.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os indicadores clássicos possuem significado físico se avaliados individualmente, porém, quando avaliados globalmente, o significado físico é perdido e não é possível identificar em quais locais e quais ações podem ser feitas as intervenções com vistas à eficiência energética. Portanto, são mais adequados para avaliação individual de um sistema ao longo do tempo do que para comparação de diferentes SAA entre si. Os valores mínimos teóricos ajudam na formulação de valores alvo, e, apesar de inatingíveis, podem ajudar na definição de metas quando não forem feitas simulações em softwares dos SAA.

Todos os indicadores analisados tiveram seus valores mínimos teóricos explicitados. Esses valores podem auxiliar na gestão hidroenergética dos SAA. A partir da razão entre os valores reais e os valores mínimos teóricos dos indicadores dos SAA, a avaliação global de prestadores de serviço torna-se mais clara e com maior facilidade na execução de benchmarking.

Sugerem-se estudos mais aprofundados em relação ao cálculo do CEN nos casos com uso de conversor de frequência, como, por exemplo, verificar qual a altura manométrica que poderia ser utilizada no fator de uniformização.

## 6. REFERÊNCIAS

ALEGRE, H., BAPTISTA, J. M., CABRERA JR., E., CUBILLO, F., DUARTE, P., HIRNER, W., MERKEL, W., PARENA, R.. Performance indicators for water supply services. Manual of Best Practice Series, 2nd Edition, IWA Publishing, London, ISBN 1843390515 (289 pág.). 2006.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnósticos dos Serviços de Água e Esgotos – 2015. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério das Cidades. ProEESA – Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água. 2017

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. Balanço energético nacional - BEN. Brasília: MME, 2016

\_\_\_\_\_. Ministérios de Minas e Energia. Eficiência Energética em Edificações Públicas no Brasil. 2008. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/\\_arquivos/apresentacao\\_carlos\\_pires.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/apresentacao_carlos_pires.pdf)>. Acesso em: 10 maio de 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Eletrobrás. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

CEEE, Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul. TABELA DE TARIFAS – GRUPO A. Disponível em: <[http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/Tarifas/Tarifas\\_Grupo\\_A\\_2016.pdf](http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/Tarifas/Tarifas_Grupo_A_2016.pdf)>. Acesso em: 22 fev. 2017.

DUARTE, P., ALEGRE, H., COVAS, D. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA. VIII Seminário Ibero-Americano, 2008.



GOMES, H. P. Sistemas de abastecimento de água: Dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias. 3. ed. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2009.

LENHS – Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento. UFPB. Disponível em: <<http://www.lenhs.ct.ufpb.br/>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

LENHS. Procedimentos Básicos para redução de consumo de energia elétrica e sistemas de bombeamento de água, 2016. Disponível em: <<http://www.capacidades.gov.br/blog/detalhar/id/95/post/773/param/ativos>>. Acesso em: 25 fev. 2017.

REDE LENHS. Diagnóstico Hidroenergético em Sistemas de Bombeamento. Disponível em: <<http://redelenhs.org/produtos/>>. Acesso em: 05 março 2017.

INTERNACIONAL FINANCE CORPORATION. World Bank Group. Water Utilities Performance-Based Contracting Manual in Brazil - WAUPBM. 2013.

VILANOVA, M. Desenvolvimento e avaliação de indicadores de eficiência hidráulica e energética para sistemas de abastecimento de água como ferramenta de suporte à tomada de decisões. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.

TEIXEIRA, M. R.; MENDES, P.; MURTA, EURICO; NUNES, L. M. Performance indicators matrix as a methodology for energy management in municipal services. Journal of Cleaner Production. Vol. 125. p. 108-120, 2016.