

O ENSAIO DE BOMBAS COMO FERRAMENTA PARA IDENTIFICAR SOLUÇÕES PARA OBTENÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ÁGUA.

Pedro Alves Silva ⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Mackenzie. Especialista em Engenharia de Saneamento Básico pela Faculdade de Saúde Pública da USP. Mestre em Engenharia Hidráulica pela Escola Politécnica da USP. Engenheiro da TECNOBRAS (1990 –1992). Engenheiro da IMPERPLASTIC (1992-1996), com experiência em recuperação estrutural, impermeabilização, edificação. Engenheiro Autônomo (1993 –1996). Professor de Engenharia no CETEC Centro de ciências exatas e tecnologia da UNICSUL - Universidade Cruzeiro do Sul (2000-2008). Professor de Engenharia Civil da Universidade Nove de Julho UNINOVE – Professor do Departamento de Ciências Exatas (Atual). Engenheiro da SABESP, com experiência nas áreas de Projetos Hidráulicos de Estações Elevatórias e sistemas de abastecimento público de água, Hidrometria e Pitometria, Perdas físicas nos sistemas de abastecimentos de água e Operação da distribuição de água em abastecimento público (1996 - Atual).

Alisson Gomes de Moraes ⁽²⁾

Doutor e Mestre em Engenharia Civil, modalidade obras hidráulicas, pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Graduado em Engenharia Civil e Tecnologia em Engenharia Civil, modalidade obras hidráulicas, pela Universidade Estadual “Julio de Mesquita Filho” (UNESP). Atua atualmente como engenheiro na Cia. de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e professor da Universidade Nove de Julho (UNINOVE).

Gilmar da Silva ⁽³⁾

Doutor em Engenharia Civil na Área de Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Atualmente é Professor Titular do Curso de Engenharia Civil da Universidade Nove de Julho (UNINOVE) no Campus do Memorial da América Latina em São Paulo.

Francis Valter Pêpe França ⁽⁴⁾

Engenheiro Civil. Especialista em Saneamento Básico. Mestre em Engenharia Civil. Professor da UFRB – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – Bahia - Brasil.

Endereço ⁽¹⁾: Rua Cravorana, 103 – Jd. Pedro José Nunes. São Paulo. SP. CEP 08061-220 BR. Tel: +55 (11) 2037.8647 - Fax: +55 (11) 2681.3750 - e-mail: lestepas@uol.com.br , pedroasilva@sabesp.com.br e pedro.as@uninove.br.

RESUMO

O ensaio de bomba nas estações elevatórias gera informações que permitem a manutenção e operação de conjuntos elevatórios, de maneira eficiente e com otimização da energia utilizada na operação dos conjuntos motor bomba, permite verificar se o consumo de energia está dentro do esperado no catálogo do fabricante e medir a capacidade real de vazão do sistema de recalque, identifica possíveis anomalias ou desgastes que ao longo do tempo vão reduzir a capacidade e a eficiência da estação. Nas estações elevatórias novas com conjuntos motor bombas e barriletes semelhantes o ensaio verifica a fidelidade da instalação ao que se propõe o catálogo do fabricante: vazão, altura manométrica e rendimento. Nas estações elevatórias há muito tempo em funcionamento (10 a 30 anos ou mais) já passaram por várias manutenções como consequência de desgastes naturais ou acidentais e às vezes até por substituições emergenciais por conjuntos motor-bombas diferentes daqueles originariamente dimensionados para a estação: alterações nos barriletes de sucção, rotor diferente, marcas de fabricação diferentes, motor diferente e até rotação diferente, nestes casos a situação é propícia para um adequado ensaio de bombas que identifique as reais condições de funcionamento de cada conjunto: capacidade de vazão, altura manométrica, consumo energético e sua eficiência no rendimento elétrico.

PALAVRAS-CHAVE: *Eficiência energética, ensaio de bombas, estações elevatórias de água.*

INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica é o grande vilão das estações elevatórias quando se refere ao custo operacional anual das grandes estações elevatórias de água tratada ou bruta. Surge daí a expressão “eficiência energética” para traduzir todas as formas de busca por menor consumo de energia por metro cúbico aduzido; até mesmo um simples resistor ou capacitor parece vender mais ou estar mais em evidência se estiver apresentado com a expressão “eficiência energética”. Vale tudo quando se trata de obter menor custo por metro cúbico de água transportado. Na verdade o conceito de eficiência energética pode se iniciar na implantação do sistema de abastecimento como um todo, isto é, a escolha do centro de reservação deve ser uma decorrência de análise da topografia do sistema de distribuição e sua necessidade de zoneamento de pressão, a posição do reservatório deve ser analisada em referência à cota da captação ou do tratamento, pode-se gastar muita energia para vencer grandes alturas geométricas com a vazão total do sistema e depois gastar mais dinheiro com redução de pressão por VRP; sendo que uma cota intermediária para instalação do centro de reservação seria mais econômica do ponto de vista energético, pois não precisaria elevar toda água para o ponto máximo; para isso bastaria elevar uma pequena parcela desta água por meio de uma estação elevatória menor e conseqüentemente com menor consumo de energia. O zoneamento adequado leva em conta a posição geográfica do centro de reservação com análise de várias opções para obter o melhor balanço energético: zona baixa, zona média e zona alta, aproveitando, desta forma, a energia potencial disponível no manancial; então, vistas estas condições, parte-se para o dimensionamento dos conjuntos elevatórios que atendam às necessidades com menor custo possível; naturalmente passa-se por um conjunto de técnicas para identificar a melhor família de bombas em função da rotação, velocidade e rotor específico que vão levar ao melhor modelo de família de bombas para as características específicas da estação elevatória.

OBJETIVO

Propor o ensaio de bombas como ferramenta para identificação de soluções de manutenção e seleção de conjuntos elevatórios para operação em associação paralela por grupos de 2, 3 ou mais conjuntos motor bomba, o mais semelhante possível, para obter o menor consumo energético por metro cúbico de água aduzida.

MATERIAIS E METODOS

O ensaio de bomba deverá obedecer às normas, por exemplo, a NBR 10131 de Nov./1987. Trata-se de um conjunto de procedimentos para garantir a precisão mais exata possível do conjunto de informações que vão gerar dados para tomada de decisão; através de graduações por válvulas instaladas no barrilete de recalque é possível graduar a vazão e medir as variações de pressão nos barriletes de sucção e recalque, associados a leituras elétricas no barramento do conjunto motor bomba, tal que possa se obter para cada graduação - vazão aduzida, altura manométrica em função do acréscimo de perdas obtido pela graduação da válvula do recalque e o correspondente consumo de energia elétrica lida diretamente no barramento do painel da bomba. Uma escala de graduação adequada para obter curvas características: rotor, resistência do sistema, NPSHd, rendimento elétrico e potência. O consumo de energia elétrica (concessionária) será comparado com a energia hidráulica total requerida no eixo da bomba; esta comparação nos dará a exata visão da eficiência energética da instalação atual, que poderá ser alterada por meios de manutenção ou simplesmente por mudança na seleção de grupos de conjuntos elevatórios. Será apresentado, como exemplo, o ensaio de bombas executado na estação elevatória de Artur Alvim em 2007 e aplicado para análise no estudo de setorização de Artur Alvim em 2010; mesmo após três anos as características elétricas foram mantidas estáveis.

1. PREPARAÇÃO DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA PARA O ENSAIO

Esta fase ocorre dias antes da programação de parada da elevatória para o ensaio, é muito importante, porque permite verificar: as condições físicas de uso dos conjuntos elevatório e se estes suportam os esforços provenientes do ensaio, o cadastramento das cotas de eixo das bombas e a cota do ponto de medição de vazão e pressão que vão ser utilizados nos cálculos do ensaio, deve-se, também, verificar os pontos de instalação dos datalogger nos barriletes de sucção e recalque, na verdade toda bomba deve prever, de fábrica, bujões para instalação de medidores de pressão em seus flanges de sucção e recalque, este item deve estar previsto na especificação de compra das bombas ao fabricante. Então se monta os procedimentos de planilhas de leituras manual e/ou eletrônicas para registros das aquisições de dados e as devidas reuniões entre as equipes envolvidas no ensaio, isto é fundamental para que cada elemento tenha conhecimento do seu papel em todas as fases do ensaio, especialmente as equipes de pitometria, manobra de válvulas e elétrica.

2. PROCEDIMENTO DO ENSAIO NA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

A. UM DIA ANTES DO ENSAIO

- A equipe de pitometria configura os dataloggers dos barriletes de sucção, recalque e do macro medidor de vazão para aquisição de dados em segundos, instala-os nos barriletes de sucção, recalque e macro medidor e os mantém desligados até o dia do ensaio, deve-se também, levantar dados do setor de abastecimento como reservação e adução.
- A equipe elétrica prepara os painéis de comando dos conjuntos elevatórios a fim de facilitar o procedimento de leitura nos barramentos elétricos dos conjuntos motor bombas em ensaio.
- A equipe de manobra em sincronismo com a equipe de pitometria estabelece as faixas de graduação das válvulas dos barriletes de recalque associadas ao percentual de vazão no macro medidor e prepara tabela para o planejamento da ação.

B. O ENSAIO

O ensaio deve obedecer ao procedimento descrito na Tabela 1, para todos os conjuntos da estação elevatória, inclusive o conjunto de reserva.

	PITOMETRIA	MANOBRA	ELÉTRICA
PREPARAÇÃO	Ligar os dataloggers e sincroniza-los com o cronômetro de mão, anotar horário em planilha.	Anotar vazamentos de gaxeta, vibrações e possíveis cavitações.	Sem alterar nada no painel, ler a potência e corrente do conjunto e anotar em planilha. Desligar todos os conjuntos um-a-um em intervalo de 1 minuto entre si.
1.º Ensaio: Ponto de trabalho (Q0)	3.º Após estabilizar a vazão no macro medidor manter um intervalo de tempo de 10 minutos e anotar em planilha: Vazão 100%Q0(m³/s); tempos inicial e final do intervalo de 10 minutos, em planilha.	2.º Se necessário ajustar com graduação da válvula de recalque até a corrente elétrica se igualar com a corrente nominal do motor.	1.º Ligar o conjunto em ensaio e estabilizar a rotação e corrente de operação com a corrente nominal do motor. Proceder às leituras no barramento elétrico e anotar em planilha: Rotação (RPM); Corrente (A); Potência (kWh).
2.º Ensaio: 75%(Q0)	3.º Anotar em planilha: Vazão 75%(Q0); tempos inicial e final do intervalo de 10 minutos, em planilha.	1.º Graduar a válvula de recalque até a vazão lida no macro medidor atingir 75% de Q0(m³/s).	2.º Leituras no barramento elétrico e anotação em planilha: Rotação (RPM); Corrente (A); Potência (kWh).
3.º Ensaio: 50%(Q0)	3.º Anotar em planilha: Vazão 50%(Q0); tempos inicial e final do intervalo de 10 minutos, em planilha.	1.º Graduar a válvula de recalque até a vazão lida no macro medidor atingir 50% de Q0(m³/s).	2.º Leituras no barramento elétrico e anotação em planilha: Rotação (RPM); Corrente (A); Potência (kWh).
4.º Ensaio: 25%(Q0)	3.º Anotar em planilha: Vazão 25%(Q0); tempos inicial e final do intervalo de 10 minutos, em planilha.	1.º Graduar a válvula de recalque até a vazão lida no macro medidor atingir 25% de Q0(m³/s).	2.º Leituras no barramento elétrico e anotação em planilha: Rotação (RPM); Corrente (A); Potência (kWh).
5.º Ensaio: Shut Off	3.º Anotar em planilha: Vazão <u>zero</u> ; tempos inicial e final do intervalo de 10 minutos, em planilha.	1.º Graduar a válvula de recalque até a <u>zerar</u> a vazão lida no macro medidor.	2.º Leituras no barramento elétrico e anotação em planilha: Rotação (RPM); Corrente (A); Potência (kWh).

Tabela 1 – Procedimento de ensaio de bombas centrífugas de eixo horizontal

- O procedimento de cálculo em função dos dados obtidos no ensaio de campo: planilhas da equipe elétrica, pitometria e dataloggers de vazão, pressão dos barriletes de sucção e recalque. Deve obedecer as normas de

ensaio e gerar informações que permitam comparar as curvas características do ensaio com as curvas características do catálogo das bombas e calcular os desvios em relação ao proposto no catálogo ou no ensaio de entrega do fabricante.

- Os parâmetros básicos são: Curva do rotor, curva do NPSH disponível, curva da potência, rotação e a curva do rendimento elétrico. Nesta fase devem-se observar as anotações do ensaio em relação à vibração, excesso de corrente na vazão nominal, vazamento de gaxetas ou selo mecânico e cavitação, estas observações entram nas recomendações para as manutenções preditivas, preventivas e corretivas ao longo do tempo de operação.

C. APLICAÇÃO DO ENSAIO DE BOMBAS EM ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ZONA ALTA – SABESP 2010.

A elevatória da zona alta do setor de abastecimento atende a demanda máxima de 385 litros por segundo, que correspondente a 49% da demanda total do setor, cuja vazão máxima é de 785 litros por segundo. A Tabela 2 apresenta as características das bombas, a Figura 1 apresenta os consumos do setor ao longo do ano e a Figura 2 apresenta as variações de consumos nos doze meses do ano.

Tabela 2 – Bombas do Artur Alvim zona alta.

conjunto n.º	Marca Modelo	Rotor (mm)	Rotação (rpm)	Vazão (m³/h)	AMT (m)	Rend. (%)	Potência CV
1	8LN18	454	1175	680	38	86	125
2	8LN18	431,8	1775	640	37	86	100
3	IMBIL	448	1185	680	38	86	125
4	8LN18	431,8	1775	640	37	86	100

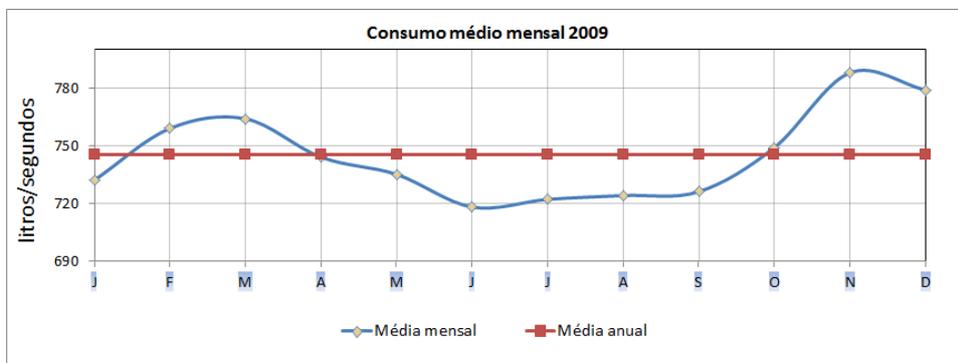


Figura 1 - Consumo médio e máximo mensal do setor Artur Alvim

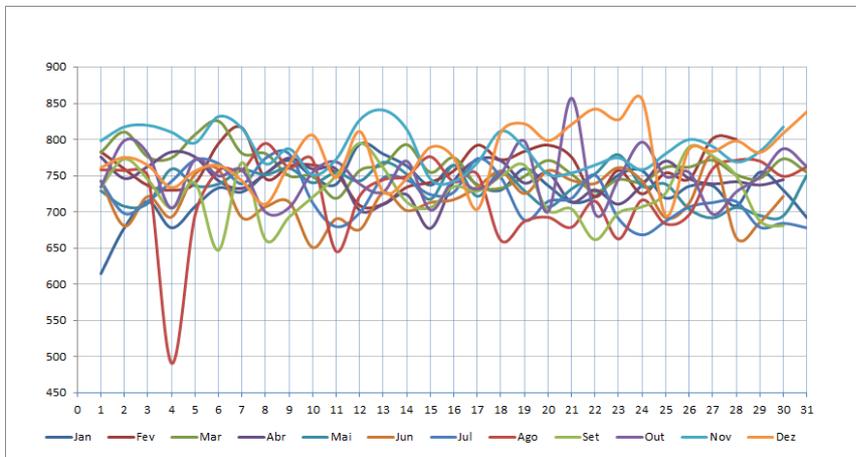


Figura 2 – variações máximas mensais no consumo do setor Artur Alvim.

A variação do perfil de consumo em relação à média está representada na Figura 3.

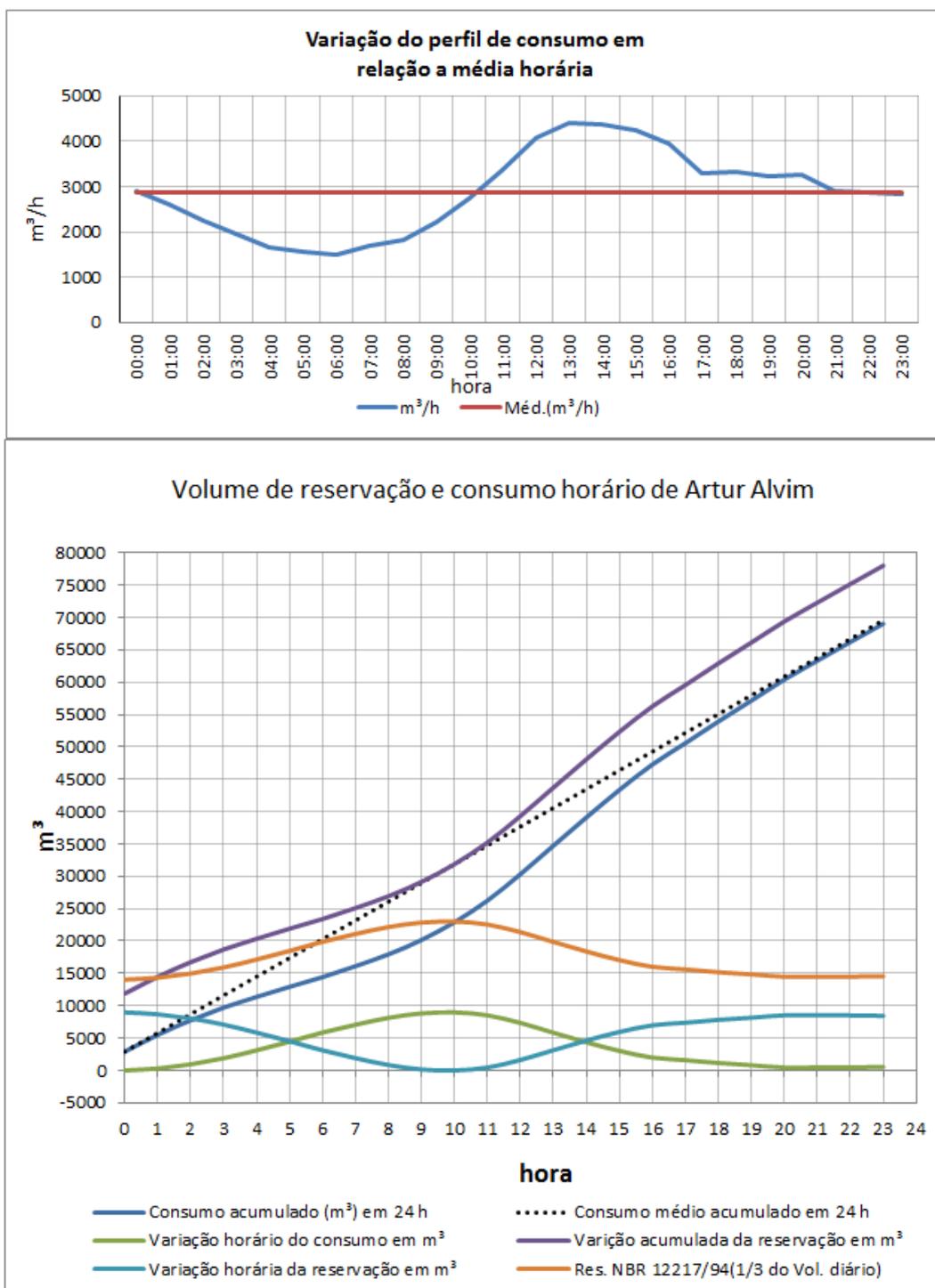


Figura 3 – Variações de reservação e consumo do setor Artur Alvim.
Fonte banco de dados SCOA - SABESP 2009.

AQUISIÇÃO DE DADOS DO ENSAIO DE BOMBAS

O ensaio se iniciou com reunião entre as equipes de operação de pitometria e equipe de manutenção elétrica. Nesta reunião foi estabelecido o procedimento e sincronismo da equipe nas fases do ensaio e levantamento das informações cadastrais e topográficas da estação elevatória, procedeu-se novo levantamento topográfico para associar o eixo das bombas aos pontos de medição de vazão e pressão com objetivo de obter o melhor resultado possível.

A aquisição de dados foi obtida por meios eletrônicos conforme descrito na Tabela 1, com a instalação de dataloggers (acumuladores de dados) nos flanges de sucção, recalque e macro medidor para todos os quatro conjuntos motor bomba da elevatória; estes dataloggers foram configurados para obtenção de dados em segundos e associados a uma planilha que estabelecia o tempo de 10 minutos por fases de graduação dos conjuntos motor-bombas; com os tempos registrados nas planilhas e nos dataloggers seria possível identificar as fases de ensaios e os conjuntos envolvidos para cálculo posterior das curvas características das bombas (engenharia) e suas leituras elétricas por equipamentos digitais (equipe elétrica). A Figura 4 mostra as diferenças entre conjuntos elevatórios da estação.



Figura 4 – Elevatória Zona Alta de Artur Alvim.

Os dados de entrada foram organizados em valores médios e representados na Tabela 2.

Tabela 2 – Aquisição de dados de entrada do ensaio da bomba 1 – EEAT Zona Alta de Artur Alvim

Teste 1[máx.] Ponto de trabalho (m)		Vazão máx.	Teste 2 [75% de Qmáx] graduação da válvula		Vazão 75% Qmáx.	Teste 3[50% Qmáx] graduação da válvula (m)		Vazão 50% Qmáx.	Teste 4[25% Qmax] graduação da válvula (m)		Vazão 25% Qmáx.	Shut Off (m)			
[Psuc]	[Prec]	[Q.m³/s]	[Psuc]	[Prec]	[Q.m³/s]	[Psuc]	[Prec]	[Q.m³/s]	[Psuc]	[Prec]	[Q.m³/s]	[Psuc]	[Prec]		
4	36	0,1247	4	42	0,0987	4	47	0,06	4	48	0,032	4	52		
4	36	0,1247	4	43	0,0987	4	47	0,06	4	49	0,032	4	55		
4	36	0,1247	4	42	0,0987	4	48	0,06	4	50	0,032	4	51		
3	37	0,1247	4	43	0,0987	4	47	0,06	4	48	0,032	4	51		
3	36	0,1247	4	42	0,0987	4	47	0,06	4	50	0,032	4	53		
3	37	0,1247	4	42	0,0987	4	47	0,06	4	51	0,032	4	54		
3	36	0,1247	4	42	0,0987	4	46	0,06	4	50	0,032	4	53		
3	35	0,1247	4	42	0,0987	4	48	0,06	4	48	0,032	4	52		
3	36	0,1247	3	42	0,0987	4	48	0,06	4	51	0,032	4	55		
3	37	0,1247	4	43	0,0987	4	46	0,06	4	52	0,032	4	53		
3	37	0,1247	4	42	0,0987	4	49	0,06	4	49	0,032	4	54		
3	37	0,1247	4	42	0,0987	4	47	0,06	4	49	0,032	4	54		
3	37	0,1247	4	42	0,0987	4	47	0,06	5	51	0,032	4	53		
3	36	0,1247	3	43	0,0987	4	47	0,06	4	48	0,032	4	52		
3	36	0,1247	4	43	0,0987	3	47	0,06	4	49	0,032	4	50		
3	36	0,1247	4	42	0,0987	4	47	0,06	4	51	0,032	4	52		
3	36	0,1247	4	42	0,0987	4	47	0,06	4	51	0,032	4	52		
Rotação méd (rpm)		Pel (kW)		Rotação méd (rpm)		Pel (kW)		Rotação méd (rpm)		Pel (kW)		Rotação méd (rpm)		Pel (kW)	
1180		58		1170		54		1170		48		1170		40	
Cota do eixo da bomba[m]															
815,93															

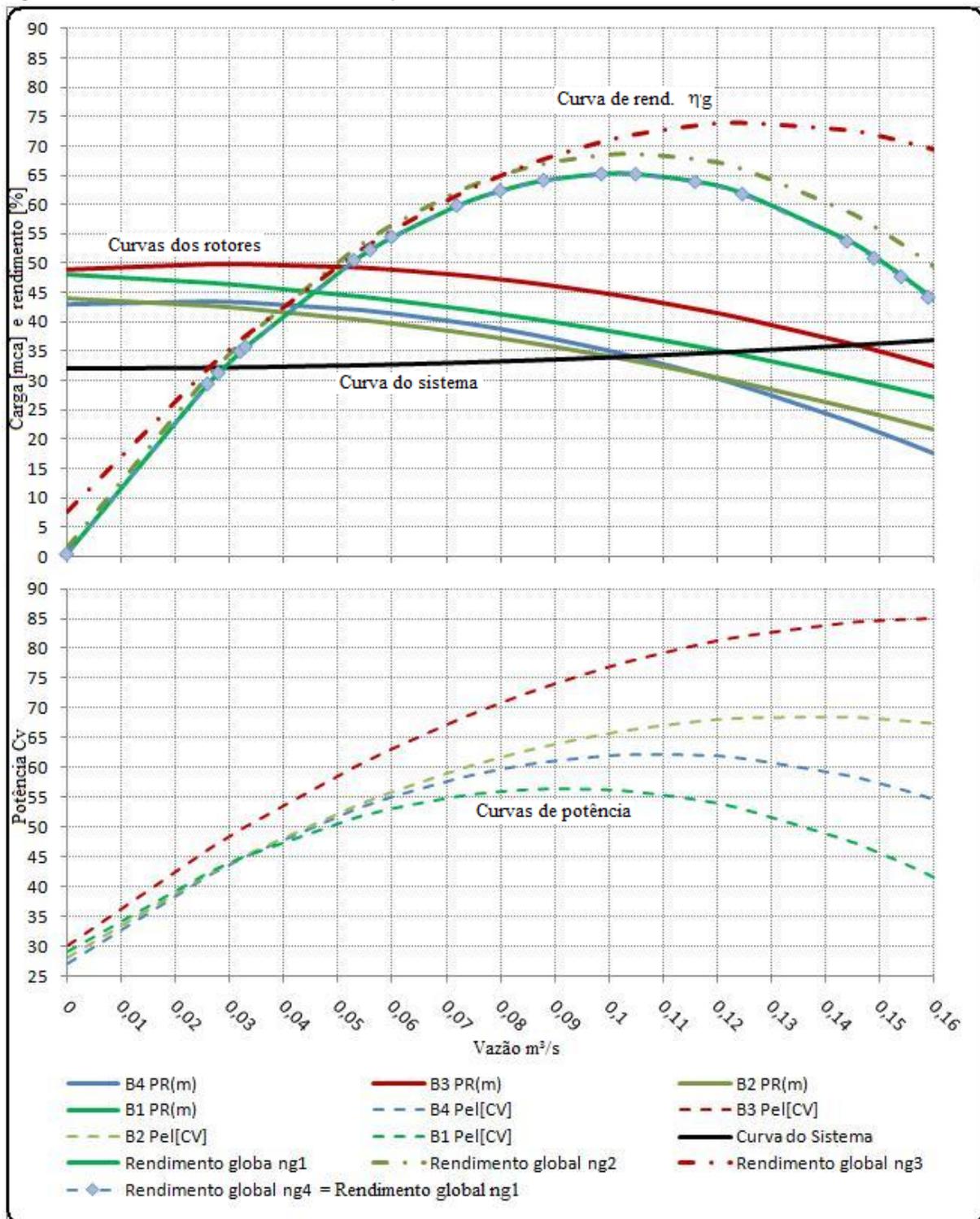
Os cálculos de vazão, pressão, rotação, potência e rendimentos elétricos do ensaio foram executados por meio de uma rotina executável em Visual Basic, que lê os dados de entrada dos dataloggers em planilha Excel, executa os cálculos e apresenta os resultados na forma da Tabela 3 e os gráficos das curvas características dos conjuntos motor bomba na forma da Figura 5.

Tabela 3 – Cálculos do ensaio para confecção das curvas características das bombas – bomba 1.

Planilha de Resultados					
Teste:	1	2	3	4	Shut Off
PS.[mca]:	3,1875	3,875	3,9375	4,0625	4
PR.[mca]:	36,294118	42,3125	47,1875	49,625	52
Q[m³/s]:	0,1247	0,0987	0,06	0,032	0
Vsuc[m/s]	1,76414	1,396316102	0,848824378	0,452706335	0
Vrec[m/s]	3,969315	3,14171123	1,90985485	1,01858925	0
AMT[m]:	33,751683	38,84161484	43,39933891	45,60497862	48
WHP[CV]:	56,117797	51,11556512	34,71947113	19,45812421	48
Pe[CV]:	78,822	73,386	65,232	54,36	29
ng[%]:	71,195602	69,65301982	53,22460009	35,79493049	
nb[%]:	79,106225	77,39224424	59,13844455	39,77214499	
BHP[CV]:	70,9398	66,0474	58,7088	48,924	
rpm:	1180	1170	1170	1170	
NPSHd[m]	12,529696	14,30447442	14,30426035	14,40295628	
Const a:	47,80579				
Const b:	-38,39799				
Const c:	-578,9789				
ÁreaSuc:	0,070686				
ÁreaRec:	0,031416				

O ensaio foi repetido igualmente para os quatro conjuntos motor bomba que deu origem ao gráfico da Figura 2 com as características dos quatro conjuntos motor bomba.

Figura 5 – Curvas características dos conjuntos motor bomba da EEAT ZA Artur Alvim



Após a obtenção das curvas características dos conjuntos procedeu-se a análise de consumo de energia com os dados obtidos no ensaio; a premissa básica seria obter a energia máxima requerida no eixo das bombas com os dados hidráulicos e comparar com o consumo de energia da concessionária durante o ensaio e ao longo do mês através das Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Seleção de conjuntos para operação em paralelo com maior eficiência energética

Q(m³/s)	B4 PR(m)	B3 PR(m)	B2 PR(m)	B1 PR(m)	B4 Pel(CV)	B3 Pel(CV)	B2 Pel(CV)	B1 Pel(CV)	C. do Sistema	Rend. gl. ng1	Rend. gl. ng2
0,000	43,000	49,000	44,000	48,000	27,000	30,000	28,000	29,000	32,000	0,600	1,400
0,026	43,508	49,912	42,751	46,610	41,817	46,179	42,041	42,331	32,132	29,446	30,756
0,028	43,472	49,924	42,617	46,471	42,791	47,307	42,998	43,175	32,153	31,314	32,667
0,032	43,369	49,922	42,332	46,178	44,667	49,513	44,860	44,785	32,200	34,900	36,341
0,033	43,336	49,916	42,257	46,102	45,122	50,055	45,315	45,172	32,212	35,765	37,229
0,053	42,126	49,367	40,475	44,339	52,967	60,004	53,487	51,538	32,548	50,435	52,382
0,056	41,852	49,213	40,161	44,034	53,939	61,353	54,561	52,269	32,612	52,203	54,228
0,060	41,450	48,978	39,723	43,612	55,153	63,093	55,933	53,153	32,702	54,385	56,516
0,072	39,987	48,073	38,276	42,234	58,226	67,915	59,626	55,184	33,011	59,727	62,191
0,080	38,799	47,303	37,202	41,223	59,800	70,797	61,738	56,019	33,248	62,287	64,984
0,088	37,439	46,399	36,040	40,137	60,996	73,412	63,569	56,439	33,510	64,044	66,985
0,099	35,354	44,982	34,350	38,570	62,003	76,494	65,580	56,353	33,900	65,140	68,422
0,105	33,984	44,036	33,281	37,585	62,279	78,086	66,530	55,955	34,150	65,114	68,605
0,116	31,337	42,186	31,285	35,755	62,198	80,470	67,771	54,644	34,624	63,877	67,747
0,125	29,014	40,544	29,590	34,209	61,626	81,999	68,377	53,051	35,032	61,824	66,008
0,144	23,142	36,338	25,458	30,465	58,757	84,266	68,537	47,767	36,044	53,884	58,804
0,149	21,458	35,122	24,304	29,425	57,654	84,601	68,312	46,004	36,329	51,066	56,186
0,154	19,708	33,854	23,116	28,356	56,403	84,832	67,978	44,079	36,625	47,934	53,258
0,159	17,891	32,533	21,894	27,258	55,004	84,958	67,534	41,993	36,930	44,489	50,021
0,164	16,008	31,161	20,638	26,131	53,457	84,981	66,980	39,744	37,245	40,731	46,474

Tabela 5 – Análise dos conjuntos, individuais e associados em paralelo dois a dois para obtenção da eficiência energética e o custo em reais com energia por metro cúbico recalçado.

Conjuntos	m³/s	ng(%)	Pot(CV)	Efic.kWh/m³	C. kWh/h	C.kWh/mês	Valor R\$	ValorR\$/m³
Individual								
1	0,13	71,19	78,82	0,129	58,012	41768,294	11537,527	0,027
2	0,105	67,75	70,71	0,124	52,043	37470,643	10350,400	0,030
3	0,145	73,12	87,01	0,123	64,039	46108,339	12736,364	0,027
4	0,121	65,36	65,23	0,128	48,009	34566,682	9548,248	0,024
Associação em paralelo								
Conj. (2+3)	0,253	64,84	157,72	0,143	116,082	83578,982	23086,764	0,028
Conj. (2+4)	0,227	66,74	135,94	0,127	100,052	72037,325	19898,648	0,027
Conj. (1+2)	0,235	69,61	149,53	0,133	110,054	79238,938	21887,927	0,029
Conj. (1+4)	0,222	60,37	144,05	0,153	106,021	76334,976	21085,775	0,029

Fonte: ensaio de bombas - SABESP

Legenda para as tabelas 4 e 5.

m³/s – vazão em metros cúbicos por segundos;

B4 PR(m) – bomba 4 pressão de recalque em metros;

B4 Pel(CV) – bomba 4 potência elétrica consumida em CV (medição no corsímetro);

C.do Sistema – curva do sistema, resistência ao escoamento;

Rend. gl. ng1 – rendimento global da bomba 1;

ng(%) – rendimento global em percentagens;

Pot(CV) – Potência em Cavalos vapor;

Efic.kWh/m³ - eficiência energética calculada;

C.kWh/h – consumo de energia em kWh;

C.kWh/mês – consumo de energia em kWh por mês;

Conj. (2+3) – Associação em paralelo dos conjuntos elevatórios 2 e 3.

RESULTADOS

A eficiência energética da instalação está no gráfico da Figura 6 e representa a eficiência dos conjuntos instalados e operando associados em paralelo dois a dois, por que na maioria do tempo só dois conjuntos estarão em operação. Eventualmente outro conjunto deverá entrar em operação e o conjunto com inversor de

frequência varia para complementar a vazão que não chega à capacidade máxima de recalque de um conjunto em plena carga. O custo com energia em R\$/m³ recalcado será consequência direta do fator de eficiência em kWh/m³. Observa-se que quanto mais semelhantes forem os conjuntos associados em paralelo maior será a eficiência da associação e por consequência obteremos menor custo com energia elétrica. Recomendou-se que na manutenção futura seja feita a troca de rotor do conjunto 1 para 431,8 mm e assim teremos três conjuntos semelhantes que poderão operar com maior eficiência energética individual e associados.

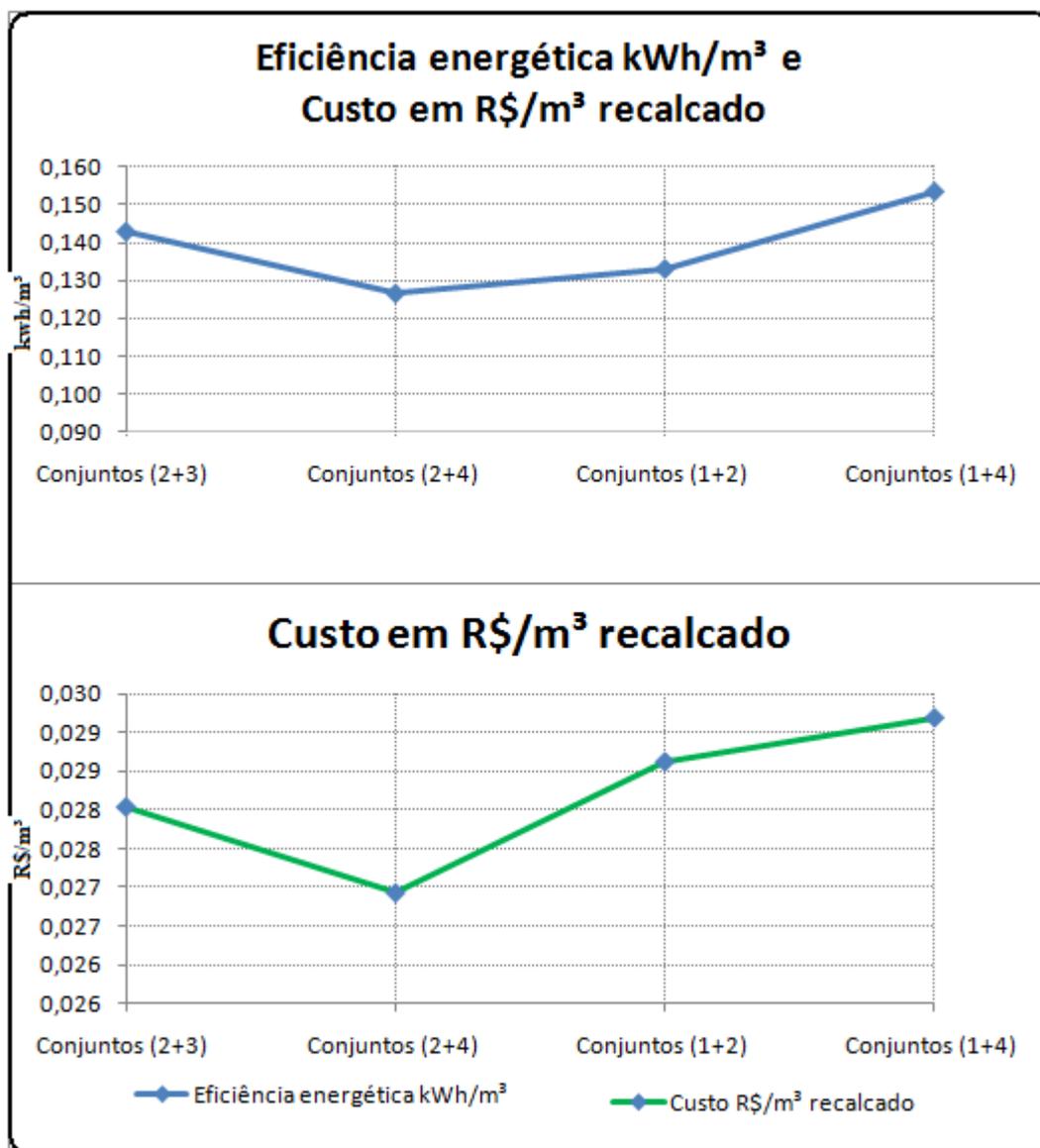


Figura 6 – Eficiência energética em kWh/m³ e o custo correspondente em R\$/m³ recalcado.

CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Observa-se claramente que a associação entre os conjuntos 2 e 4 gera a melhor eficiência energética (kWh/m³), e consequentemente, o menor custo (R\$/m³) no consumo de energia elétrica. A análise do ensaio de bombas aqui apresentado foi aplicado em estudo de setorização da SABESP EM 2011 e resultou no desligamento de um conjunto e a expansão da zona alta sem modificar ou instalar novos conjuntos, apenas instalação de um rotor, motor e novas redes de reforços, melhorou a capacidade da elevatória da zona alta de pressão como um todo e ainda permitiu visualizar a possibilidade de mudanças na seleção dos conjuntos no painel de comando e o desligamento de um conjunto que vai proporcionar a redução de 41.768,29 kWh/mês ao custo de R\$ 11.537,52/mês no consumo de energia elétrica. Naturalmente o ensaio, também, proporcionará a

visualização dos desgastes dos equipamentos instalados e que entraram como sugestão para as próximas manutenções preventivas, tais como troca do rotor e motor da bomba 1 e a variação no inversor nas entradas de conjuntos com carga total, isto é, conjuntos em operação em plena carga (eficiência máxima) e o inversor só nos complementos de vazão que não chegam a capacidade máxima do conjunto, estas entrada (inversor) se for necessário o terceiro conjunto; este entra e o conjunto equipado com inversor passa a reduzir até o limite de rotação em torno de 40% da rotação máxima de 1180 rpm, com isto atinge-se a vazão de demanda horária com todos os conjuntos operando com eficiência máxima assistidos por um único inversor de frequência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.
2. TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 1.^a edição. São Paulo, 2004.
3. KOELLE E., **Educação continuada em engenharia hidromecânica**. Gestão, Projeto e Operação de redes hidráulicas. SABESP. São Paulo, 1998. v.7.
4. SABESP - **Procedimento de ensaio de bombas centrifuga**. São Paulo, 1998.