

## OTIMIZAÇÃO DE ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO DE ESGOTO POR MEIO DA MEDIÇÃO DO RENDIMENTO DE BOMBAS E APLICAÇÃO DO INDICADOR GPX

### Nome do Autor Principal<sup>(1)</sup>

Walt José Santos Alves, Tecnólogo de Produção Mecânica pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo - FATEC-SP, Engenheiro de Materiais pela Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie e Pós-Graduação em Gestão Pública pela Universidade Mogi das Cruzes - UMC, estou na SABESP desde 1996 e atualmente trabalho na Unidade de Tratamento Regional Oeste – MTO como Gestor de equipe multidisciplinar para elaboração de pacotes técnicos para contratação.

### Nome do Autor<sup>(2)</sup>

André Vizioli Gomes, Engenheiro e Gerente Geral da Toraqua Technologies.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Estrada Taguai, 400 – casa 11 – Chácara do Refúgio – Carapicuíba – São Paulo - SP - CEP 06342-000 – Tel: +55 (11) 3388-6047 - Cel: +55 (11) 9.8706-7003 - e-mail: [wjsalves@sabesp.com.br](mailto:wjsalves@sabesp.com.br).

### RESUMO

A Estação Elevatória de Esgoto Bruto capta os esgotos do poço de recebimento dos esgotos afluentes ao sistema de tratamento e recalca para o canal de entrada da ETE Barueri. Essa Elevatória abriga 4 (quatro) bombas centrífugas de eixo vertical. A capacidade de recalque de cada bomba é de 3,0 a 6,9 m<sup>3</sup>/s, altura manométrica de 31 mca, potência de 3100 HP e rotação de 321 a 428 rpm. O objetivo do trabalho era avaliar o rendimento destes conjuntos motor bomba para otimização operacional utilizando o indicador Green Pump Index (GPX). Para isso foram feitas medições de rendimento, levantamento das curvas características das bombas e relacionadas com alguns parâmetros medidos em campo. Os resultados obtidos foram comparados para verificação de cada conjunto. Chegou-se à conclusão que elaborar um procedimento para intervenções necessárias trará um aumento na confiabilidade operacional devido sua importância para o processo, com um olhar na perspectiva de custos operacionais e as potências dos conjuntos, serão necessários um monitoramento em tempo real mais detalhado, os resultados apresentaram que somente com a priorização da intervenção do pior conjunto levantado seria possível reduzir o consumo de energia em torno de 8% e sem a necessidade de CAPEX.

**PALAVRAS-CHAVE:** GPX, Indicador de Bombas, Eficiência Energética.

### INTRODUÇÃO

Segundo estudos da União Europeia (2016) aproximadamente 90% do custo com bombeamento é com consumo de energia elétrica. Os custos de energia conforme Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) em média estão entre segundo ou terceiro maior custos das companhias de saneamento.

Há dezenas de indicadores de performance de bombas entre eles é possível destacar a IN 58 (SNIS) resultado da fração da potência consumida pelo volume bombeado (kWh/m<sup>3</sup>). CLIFFORD T. destaca a evolução do conceito aonde tradicionalmente o ponto de partida para avaliação de uma bomba é medir a curva da bomba e notar qual é diferente é a curva de uma unidade nova. Dois pontos-chaves que podem ser considerados primeiro o melhor ponto de eficiência, que é frequentemente alinhado com o ponto de operação. Em segundo lugar é a eficiência hidráulica (também chamada de eficiência da bomba), que muitas vezes é diferente da altura manométrica de operação.

Ainda segundo CLIFFORD T. normalmente é adotado a energia elétrica por vazão para calcular a energia específica, no entanto, este indicador assume que as propriedades dos sistemas não mudam e não permitirão a comparação com outras estações de bombeamento.

### OBJETIVO

Avaliação do rendimento de conjuntos motor bomba para otimização operacional utilizando o indicador Green Pump Index (GPX) da Estação de Tratamento de Esgotos da ETE Barueri.



## METODOLOGIA UTILIZADA

Neste trabalho foi utilizado o indicador Green Pump Index (GPX), conforme Tabela 1, com ele é possível ter a medida real da eficiência energética do driver de acionamento, bomba e sistema, além de tudo pode ser aplicado em qualquer bomba. A equação (1) abaixo apresenta a fórmula para cálculo e em seguida o indicador (GPX).

$$\text{GPX} = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times \text{Altura Manométrica (m)}}{3,67 \times \text{Potência Elétrica (kW)}} \quad \text{equação (1)}$$

Tabela 1: Indicador GPX.

INDICADOR	AÇÃO
< 50 G8	<b>EFICIÊNCIA ABAIXO DO RECOMENDADO</b> Recomendado ação imediata para melhorar eficiência energética
50 – 54 G7	
55 – 59 G6	
60 – 64 G5	
65 – 69 G4	<b>PERFORMANCE MÉDIA</b> Planejamento futuro para redução do consumo de energia
70 – 74 G3	
75 – 79 G2	<b>PERFORMANCE EXCELENTE</b>
80 + G1	

Atualmente há um grande desafio para empresas de saneamento para medição do rendimento individual pelo fato da complexidade das medições de vazão, paradas na estação e precisão dos testes. No Brasil por meio do equipamento FREEFLOW desenvolvido pela Riventa vem sendo executado dezenas de teste de bombas em companhias de saneamento os testes em média demonstraram valores entre 65% a 75% apresentando um grande potencial para remodelação das estações e economia de energia.

Para medição do rendimento foi adotado a ISO 9906;2002 que conceitualmente é definido como a equação (2) abaixo:

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{\text{Energia de Saída}}{\text{Energia de Entrada}} \quad \text{equação (2)}$$

Para o levantamento das curvas características das bombas centrífugas foram relacionadas a vazão (Q) recalçada com a altura manométrica alcançada (H), com a potência absorvida (Pe) e com o rendimento. A equação (3) de eficiência hidráulica (%) é formada conforme equação abaixo:

$$\eta_H = \frac{\text{Saída}}{\text{Entrada}} = \frac{\text{Energia Hidráulica}}{\text{Potência do Eixo}} = \frac{j \times g \times H \times Q}{P_e \times \eta_m} \quad \text{equação (3)}$$

Onde:

H = Altura de elevação manométrica ou carga total (m)

Q = vazão ou capacidade da bomba (m<sup>3</sup>/s)

P = potência absorvida ou potência no eixo (kW)

$\eta_m$  = rendimento do motor

$\rho$  = Densidade do fluido

g = Aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>)

A figura 1 abaixo apresenta a instalação utilizada para medição do rendimento das bombas da ETE Barueri os medidores de pressão são produzidos pela Riventa com incerteza de 0.1% são inseridos por meio de uma conexão de engate rápido na sucção e recalque da bomba. O analisador de energia é fabricado pela HIOKI é de modelo clamp on e tem comunicação via cabo com o ECOFLOW aonde todos os dados são interconectados e enviados para software em um notebook. A vazão foi inserida manualmente com os dados do medidor Siemens instalados em cada conjunto. O rendimento do motor foi utilizado dado de placa. Todos os dados como conexão direta com FREEFLOW, ou seja, neste caso os medidores de pressão foram coletados a cada 15 segundos automaticamente.

Já os dados de vazão e potência foram inseridos manualmente em cada ponto. O mesmo procedimento foi realizado para velocidade dos motores. O software FREEFLOW faz a correção dos dados de velocidade automaticamente pela regra da similaridade para vazão nominal e elaboração da curva.



**Figura 1: Layout da instalação dos equipamentos freeflow.**

A figura 2 abaixo apresentam cada passo da instalação bem como os instrumentos utilizados para medição do rendimento.



**Figura 2: Fotos da instalação.**

## RESULTADOS OBTIDOS

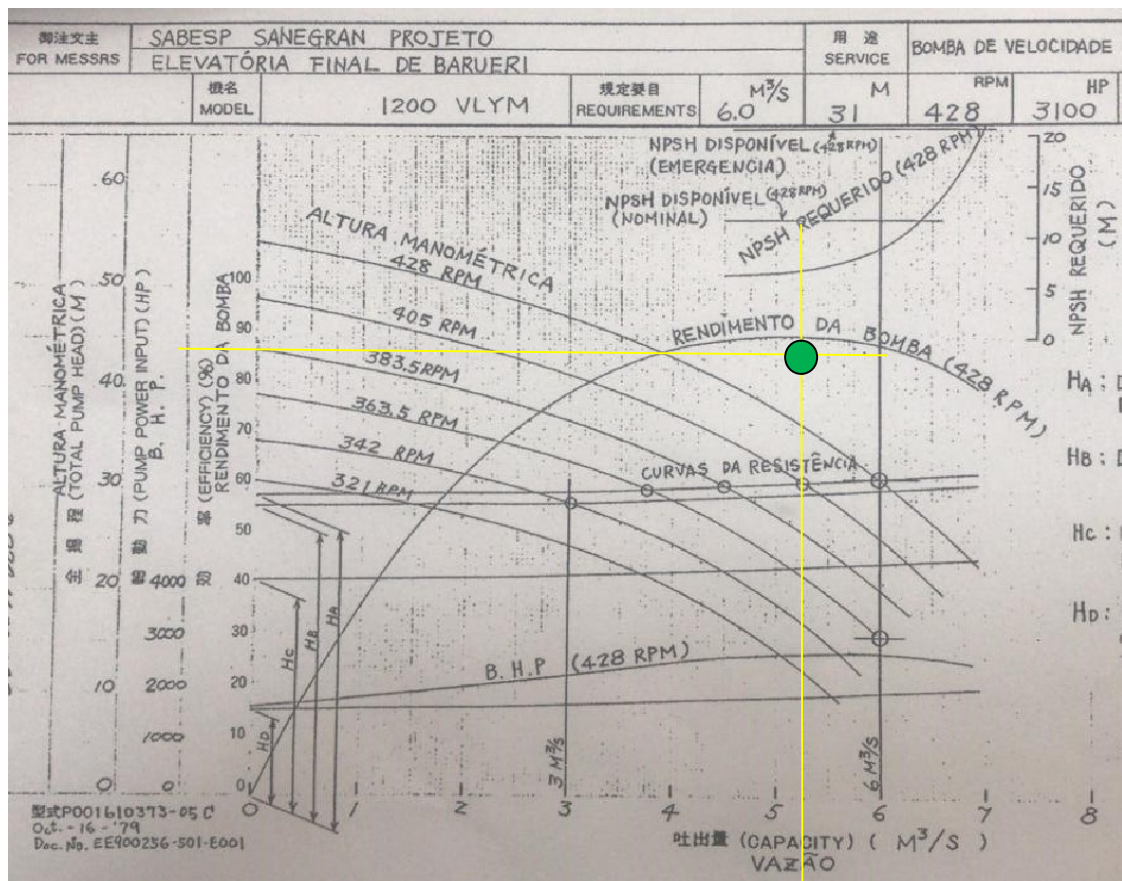
Os dados de plaqueta de bombas demonstram que o ponto de operação especificado é de 31mca para 6m³/s a tabela 2 abaixo, apresenta a massa de dados produzida pelo fabricante para construção da curva Original & Manufacture (O&M).



**Tabela 2 – EBARA Original & Manufacture (O&M).**

Ponto	Altura Manométrica (m)	Potência Elétrica (kW)	Eficiência(%)	Vazão (m³/h)
1	54.4	1587.3	0.1	0.0
2	52.5	1521.1	35.8	3600.0
3	50.2	1688.2	61.7	7200.0
4	47.2	1864.7	78.8	10800.0
5	43.2	2035.3	88.1	14400.0
6	37.9	2168.5	90.6	18000.0
7	30.9	2202.9	87.3	21600.0
8	22.0	2013.1	79.3	25200.0

A curva do fabricante ou citada neste trabalho de Original & Manufacture (O&M) é apresentada abaixo na Figura 3 aonde é possível destacar o melhor ponto de rendimento ou Best Point Efficiency (BEP) de 90% com a vazão de 5.1 m³/s.



**Figura 3 - Curva do Fabricante O&M.**

A seguir são apresentados os resultados das medições realizadas em 08/02/19 para as bombas, conforme tabela 3 e 4 a seguir.

A bomba 1 e 4 não foi possível controlar a frequência para alteração do fluxo e a criação de distintos pontos de operação. Para bomba 3 foi possível realizar o levantamento de 3 pontos em diferentes momentos de vazão.



**Tabela 3 – Dados Coletados da Bomba 1.**

Ponto	Altura Manométrica (m)	Potência Elétrica (kW)	Eficiência(%)	Vazão (m³/h)
1	23.1	1933.8	80.8	23208.2

**Tabela 4 – Dados Coletados da Bomba 3.**

Ponto	Altura Manométrica (m)	Potência Elétrica (kW)	Eficiência(%)	Vazão (m³/h)
1	19.7	2249.3	53.7	20782.9
2	25.1	1971.2	59.0	15651.3
3	22.1	2043.8	64.5	20163.6

**Tabela 5 – Dados Coletados da Bomba 4.**

Ponto	Altura Manométrica (m)	Potência Elétrica (kW)	Eficiência(%)	Vazão (m³/h)
1	23.4	2063.0	56.5	17280.0

Em seguida são apresentados as Figuras 4, 5 e 6 que demonstram as alturas manométricas, potências e eficiências em relação as vazões para cada conjunto. Neste caso é possível observar a comparação do ponto medido com a curva do fabricante (OEM), além do ponto real de operação registrado pelo software Freeflow no momento da medição destacado em verde, bem como o ponto de operação de projeto da bomba (Duty Point).

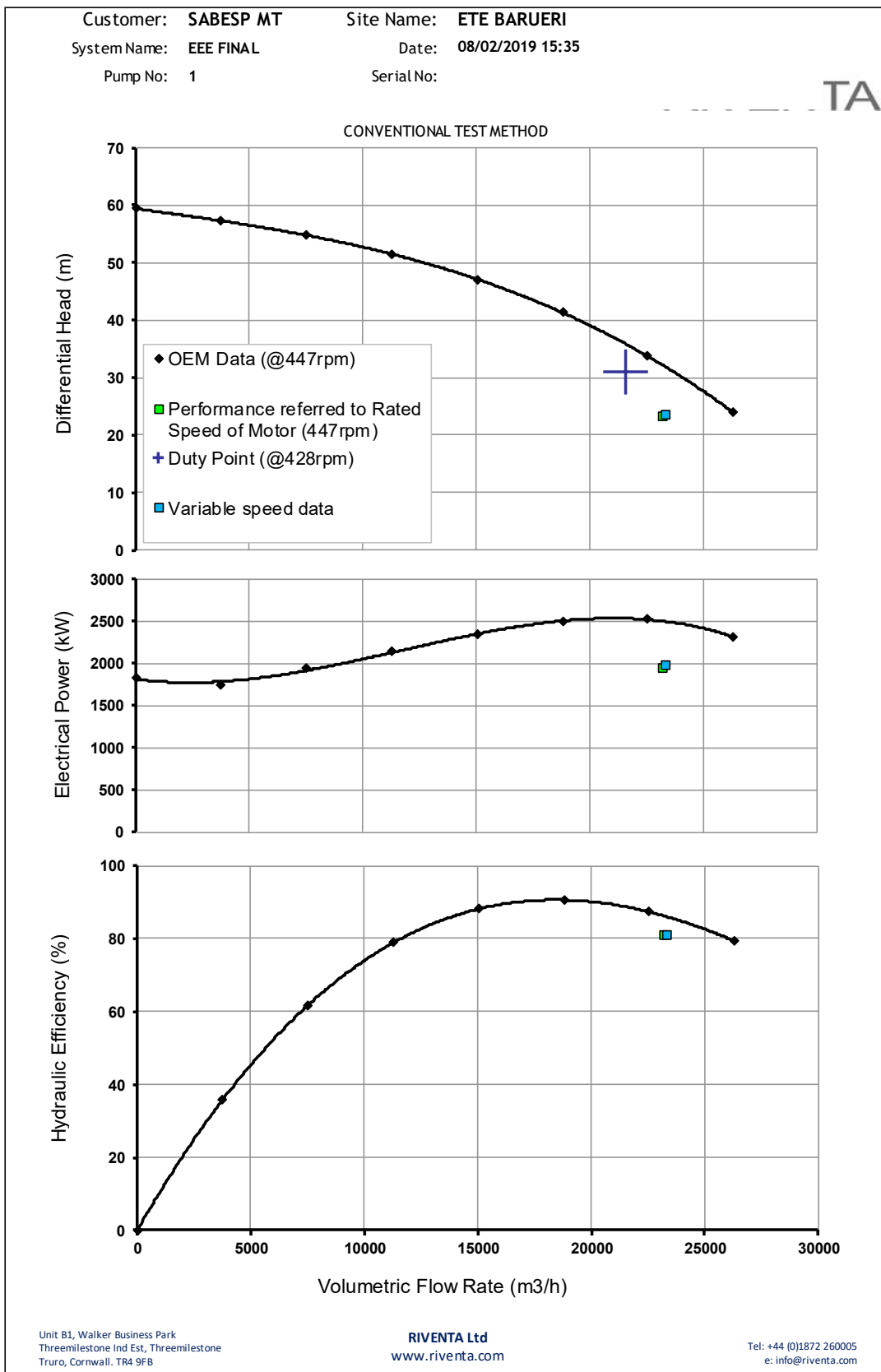
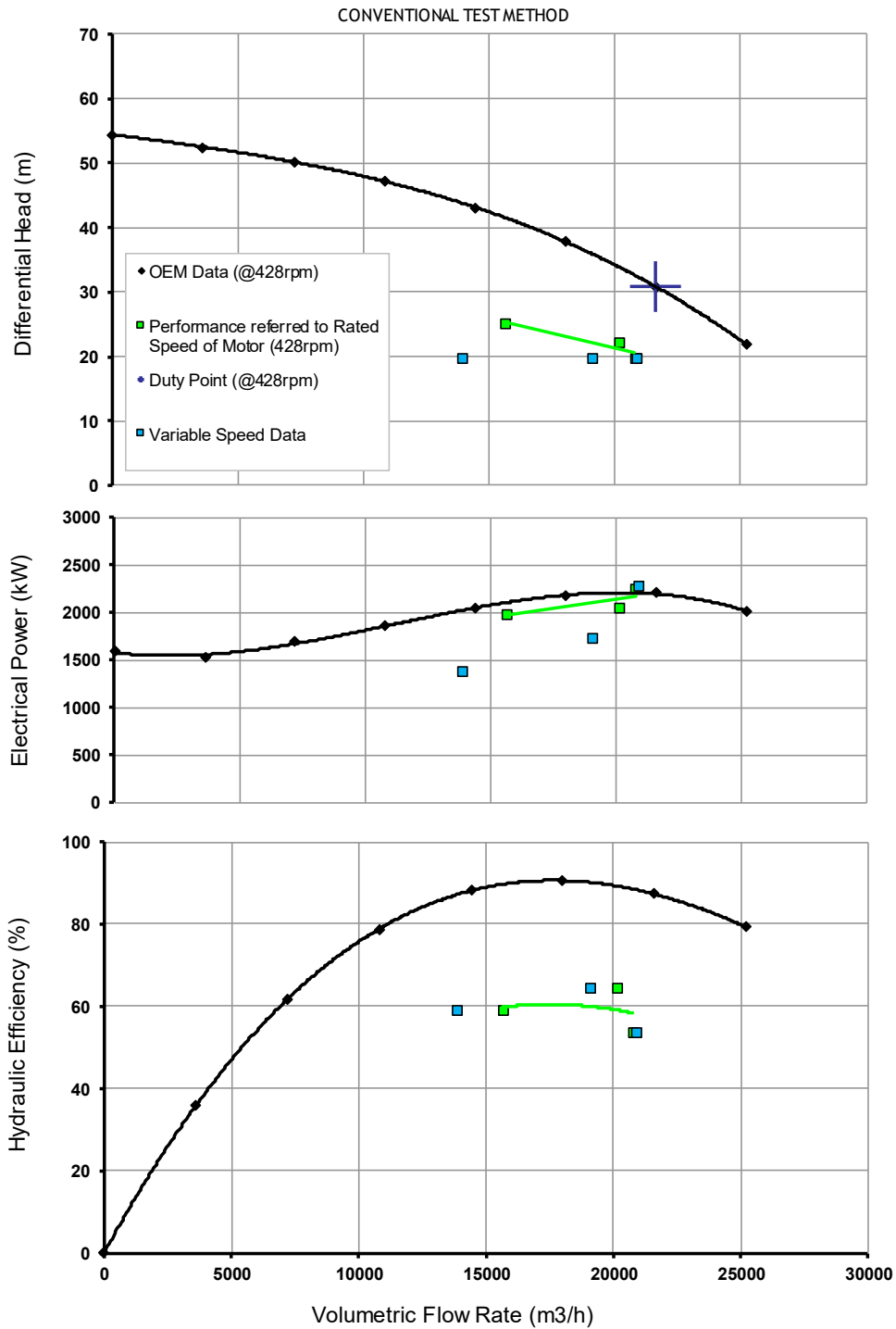


Figura 4 – Bomba 1 - Gráfico Comparação das Curvas.



Customer: **SABESP MT** Site Name: **ETE BARUERI**  
System Name: **EEE FINAL** Date: **08/02/2019 09:50**  
Pump No: **3** Serial No:

TA

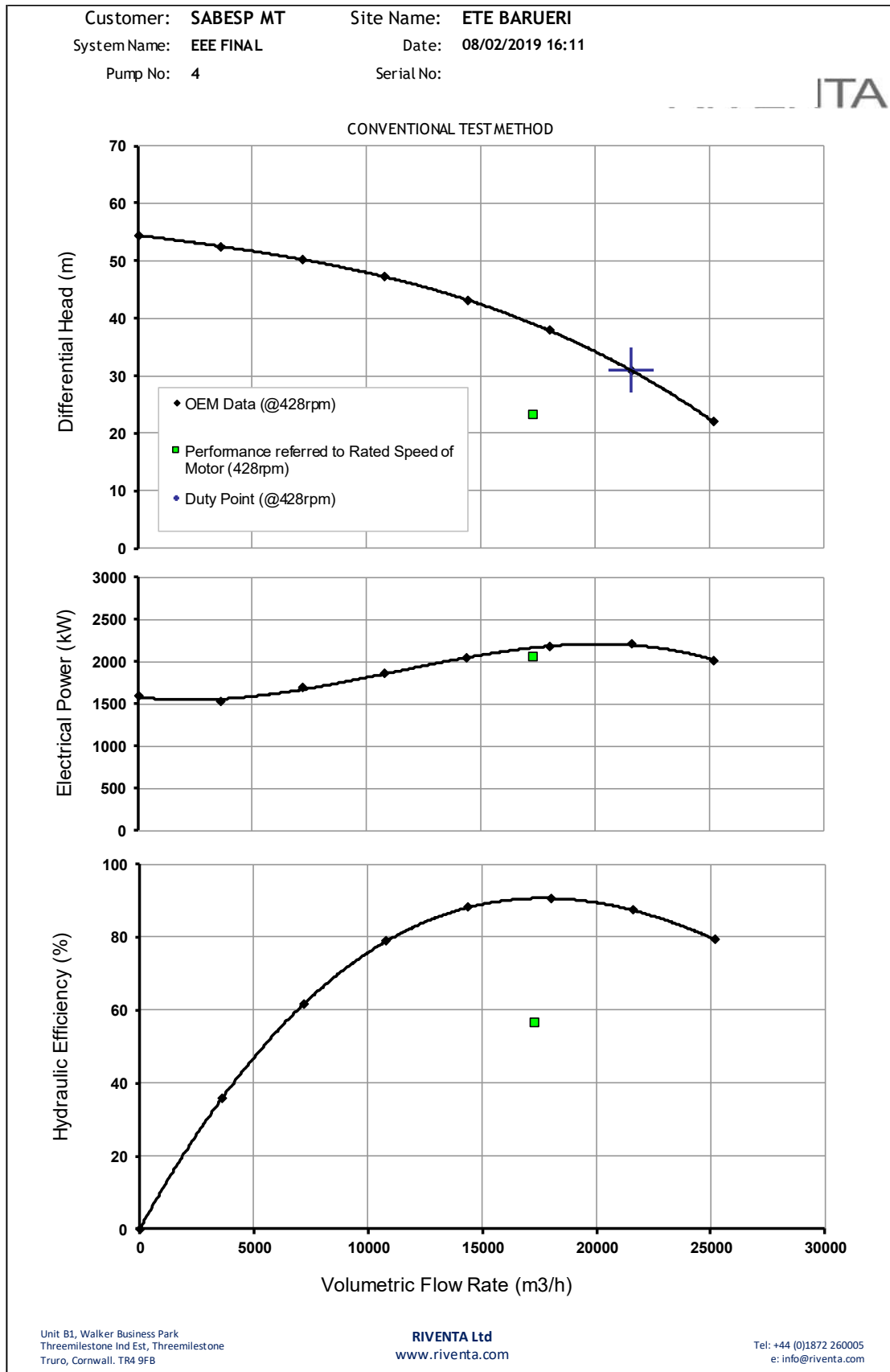


Unit B1, Walker Business Park  
Threemilestone Ind Est, Threemilestone  
Truro, Cornwall. TR4 9FB

**RIVENTA Ltd**  
www.riventa.com

Tel: +44 (0)1872 260005  
e: info@riventa.com

Figura 5 – Bomba 3 - Gráfico Comparação das Curvas.



**Figura 6 – Bomba 4 - Gráfico Comparação das Curvas.**



## **ANÁLISE DE RESULTADOS**

Os resultados obtidos foram comparados com a curva do fabricante e o indicador GPX para verificação de cada um dos conjuntos.

A bomba 1 foi a melhor das 3 bombas testadas apresentando a eficiência hidráulica de 80%. Em relação ao motor também tem o melhor desempenho, a instalação do novo motor WEG é 1.5% mais eficiente que o antigo motor Mitsubishi. A bomba 1 também operava a 123% em relação BPE da bomba.

A bomba 3 estava muito desgastada com a melhor eficiência hidráulica disponível de 61%, quando nova a bomba deveria ter uma eficiência de 90%, ou seja, 48% maior que a atual. Ainda foi possível destacar que há uma queda acentuada na eficiência de 65% para 54% indicando o início de cavitação.

A bomba 4 estava extremamente desgastada com a eficiência operacional atual de 57%, consequentemente a vazão igual a 80% do fluxo de trabalho. Além disso a bomba 4 apresentou uma altura manométrica de 10% maior que as outras bombas para a mesma vazão.

A Figura 7 abaixo ilustra as análises graficamente com alguns apontamentos para o melhor entendimento com mais detalhes e estima a curva do sistema para os conjuntos.

Em relação a comparação da bomba 1 é a única que apresentava GPX de 81 e deveria ser prioritária na operação da estação. Como a bomba 1 operava 123 % à direita do BEP, deveria reduzir a velocidade para aumentar a eficiência.

A bomba 2 não pode ser testada devido às tomadas estarem bloqueadas, impedindo a medição da pressão.

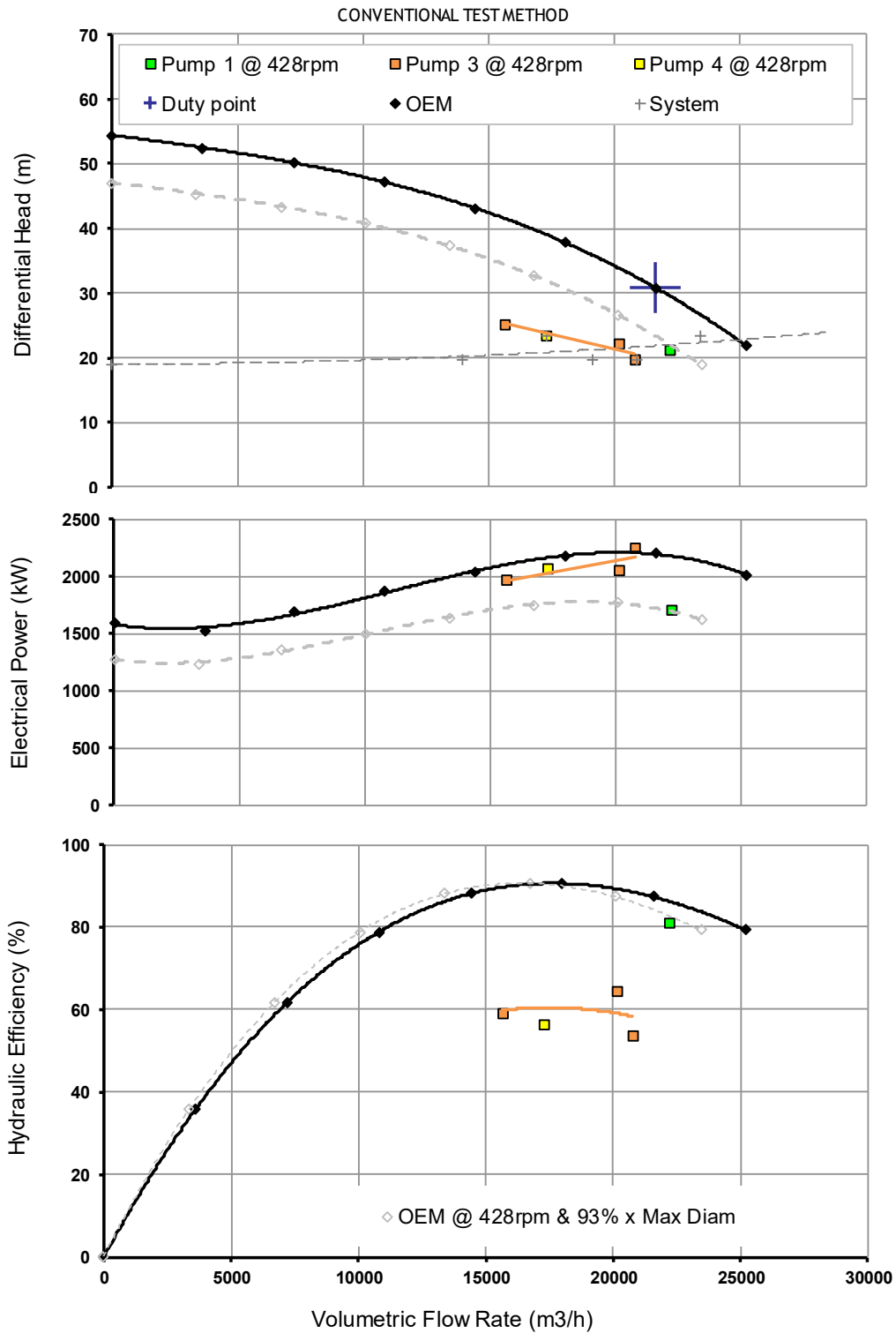
As curvas de desempenho parcial para bomba 3 orientava a não execução do conjunto a velocidades menores que 80% do nominal para evitar o risco de recirculação no inglês Dead Heading. Esta bomba parecia cavitatar à velocidade máxima apresentando deterioração acelerada e falha prematura.

Para bomba 4 foi constatado a pior eficiência hidráulica de 57%, se recondicionada para o ponto original a eficiência seria de 80%.



Customer: **SABESP MT**  
System Name: **EEE FINAL**  
Pump No: **1, 3 & 4**

Site Name: **ETE BARUERI**  
Date: **08/02/2019 09:50**  
Serial No: **-**



Unit B1, Walker Business Park  
Threemilestone Ind Est, Threemilestone  
Truro, Cornwall. TR4 9FB

RIVENTA Ltd  
www.riventa.com

Tel: +44 (0)1872 260005  
e: info@riventa.com

Figura 7 – Bomba 4 - Gráfico Comparação das Curvas.

Em relação a comparação da bomba 1 era a única que apresentava GPX G1 apresentando o índice de 81 demonstrando um nível de excelência para operação, assim deve ser prioritária na operação da estação. Ainda como está bomba operava 123 % à direita do (BEP), poderia reduzir a velocidade para aumentar a eficiência.

Para estimativa do custo corrente da estação foi assumido que cada bomba tem sua própria tubulação de recalque dedicada, a curva do sistema foi agregada e usada para todas as bombas e está curva era representativa para média anual. O Custo de energia adotado para R\$/kWh é de 0,40 com uma das quatro bombas disponível funcionando o tempo todo, ou seja, cada uma das 3 bombas testadas funciona 66,6% do ano.

A operação atual pressupõe velocidade máxima. A comparação dos custos utiliza o requisito de volume bombeado fixo de 352 milhões de m<sup>3</sup>/ano a vazão média de 40.200 m<sup>3</sup>/h igual a 11m<sup>3</sup>/s.

A Estimativa anual de custo com bombeamento é de R\$ 14.300.000,00 ano o valor médio para o consumo específico é de R\$ 0.0041 R\$/m<sup>3</sup>.

A tabela 6 a seguir apresenta os dados assumidos para operação da estação de bombeamento ETE Barueri.

**Tabela 6 – Custos assumidos para operação atual.**

PARÂMETROS	BOMBA 1	BOMBA 3	BOMBA 4	AGREGADO	UNIDADE
Velocidade	447	428	428	~	rpm
Vazão	23,208	19,831	17,280	40,209	m <sup>3</sup> /hr
Altura Manométrica	23.2	21.4	23.4	22.7	m
Eficiência da Bomba	80.8	59.4	56.5	65.5	%
Potência no Eixo	1,816	1,947	1,950	1,904	kW
Driver de Acionamento	93.9	92.1	94.5	93.5	%
Energia de entrada	1,934	2,114	2,063	2,037	kW
Energia específica	0.083	0.107	0.119	0.103	kWh/m <sup>3</sup>
Tempo de operação	66.66	66.66	66.66		%
Volume anual	135,522,568	115,802,685	100,905,108	352,230,361	m <sup>3</sup> /ano
Consumo Anual de Energia	11,292,277	12,342,952	12,046,715	35,681,945	kWh/ano
Custo Anual de Energia	4,516,911	4,937,181	4,818,686	14,272,778	/ano
GPX	81	59	57		-
Custo específico p/Bomba	R\$0.03	R\$0.04	R\$0.05	R\$0.04	R\$/m <sup>3</sup>

A seguir na tabela 7 é apresentado a estimativa de custo de bombeamento favorecendo a bomba 1 com o melhor GPX, ou seja, operando 100% ao ano. A bomba 3 operando a toda velocidade, mas com um fator de carga para satisfazer os requisitos de volume anual. A bomba 4 operando somente quando absolutamente necessária, por exemplo, condições de tempestade. Foi assumido o volume bombeado fixo de 352 milhões de m<sup>3</sup>/ano vazão média de 40200 m<sup>3</sup>/h. O desempenho da bomba 1 foi estimado usando curvas do fabricante utilizando o rotor com 93% do diâmetro como referência.

**Tabela 7: Custo com a priorização da Bomba – 1.**

PARÂMETRO	BOMBA 1	BOMBA 3	BOMBA 4	AGREGADO	UNIDADE
Vazão	447	428	428	~	rpm
Altura Manométrica	23,208	19,831	17,280	40,209	m3/hr
Eficiência da Bomba	23.2	21.4	23.4	22.6	m
Potência no Eixo	80.8	59.4	56.5	66.6	%
Driver de Acionamento	1,816	1,947	1,950	1,899	kW
Energia de entrada	93.9	92.1	94.5	93.4	%
Energia específica	1,934	2,114	2,063	2,034	kW
Tempo de operação	0.083	0.107	0.119	0.101	kWh/m3
Volume anual	100	85.7		185.7	%
Consumo Anual de Energia	203,304,182	148,926,179	0	352,230,361	m3/ano
Custo Anual de Energia	16,940,110	15,873,455	0	32,813,565	kWh/ano
GPX	81	59	57		
Custo específico p/Bomba	R\$0.03	R\$0.04		R\$0.04	R\$/ano

Priorizando a bomba 1 com melhor GPX é possível observar uma economia anual de 1.15 milhões ano, ou seja 8% de redução.

Uma proposta mais completa é a reforma de todos os conjuntos. A bomba 4 que apresenta menor GPX e está atualmente com velocidade fixa é indicado a redução do tamanho rotor em 10% para se aproximar do (BEP). A bomba 3 reformada se torna uma bomba para ser priorizada, mas para operar no (BEP) é necessário reduzir a velocidade em 73%. A bomba 1 não precisa ser alterada mas opera durante alguns períodos do ano para atender a demanda anual.

Conforme a norma WIMES 114 é totalmente possível se alcançar os índices de bombas originais com reformas, desde que respeitado todos os procedimentos bem como as recomendações e especificações do fabricante.

A tabela 8 a seguir apresenta a estimativa dos custos de operação com a reforma. A redução do consumo seria de 28% de energia a estimativa anual durante o ano seria de R\$ 4.000.000,00.

**Tabela 8 – Custo de operação com a reforma de bomba.**

PARÂMETRO	BOMBA 1	BOMBA 3	BOMBA 4	AGREGADO	UNIDADE
Trabalhos a ser Realizado	Não Fazer nada	Reformar a bomba 3 totalmente	Reduzir o Tamanho do Rotor		
Velocidade	447	312	385	~	rpm
Vazão	23,208	12,999	21,002	40,209	m3/hr
Altura Manométrica	23.2	20.1	21.7	21.2	m
Eficiência da Bomba	80.8	90.5	83.8	86.4	%
Potência no Eixo	1,816	785	1,481	1,213	kW
Driver de Acionamento	93.9	92.1	94.5	93.4	%
Energia de entrada	1,934	852	1,567	1,295	kW
Energia específica	0.083	0.066	0.075	0.072	kWh/m3
Tempo de operação	26.7	100	100	226.7	%
Volume anual	54,375,209	113,874,895	183,980,257	352,230,361	m3/ano
Consumo Annual de Energia	4,530,758	7,463,793	13,727,925	25,722,476	kWh/ano
Custo Annual de Energia	R\$1,812,303	R\$2,985,517	R\$5,491,170	R\$10,288,990	
GPX	81	91	84		
Custo específico p/Bomba	R\$0.03	R\$0.03	R\$0.03	R\$0.03	R\$/ano

A reforma do conjunto 3 aumenta em 53% o índice GPX e posicionando o conjunto como a bomba com prioridade para operação a bomba 4 com a reforma eleva o indicador 48 % sendo a segunda bomba com melhor eficiência. A bomba 1 permanece com o mesmo índice por não haver necessidade de reforma.

**Tabela 9 – Comparação do GPX antes e depois da reforma.**

CONDIÇÃO	PARÂMETRO	BOMBA 1	BOMBA 3	BOMBA 4
Antes da reforma	GPX	80.78	59.39	56.5
Depois da Reforma	GPX	80.78	90.69	83.84

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As bombas da Estação Elevatória de Esgoto são bombas estratégicas para ETE BARUERI sem elas não é possível manter o tratamento da estação, assim é fundamental a elaboração de procedimento para o aumento de confiabilidade destes conjuntos visto a importância para operação do sistema.

Já olhando por uma perspectiva de custos operacionais as potências dos conjuntos exigem um monitoramento mais detalhado, os resultados apresentaram que somente com a priorização do melhor conjunto é possível reduzir o consumo de energia em 8% cerca de 1.15 milhões.

O trabalho consistiu no levantamento da curva real de rendimento dos conjuntos em alguns casos por não haver possibilidade do levantamento da curva foi realizado a coleta somente de um ponto. Os portes dos conjuntos viabilizam facilmente o monitoramento em tempo real para aumentar a disponibilidade operacional, bem como sua confiabilidade e economia na operação.

A priorização para reforma deve ser bomba 3 e Bomba 4. A redução apontada com a reforma dos conjuntos é de R\$ 4.000.000,00, por isso é totalmente recomendado um estudo mais aprofundado da estação para tomada de decisão com

relação as reformas. O monitoramento em tempo real pode permitir a visualização e aferição dos ganhos a cada tomada de decisão.

O indicador GPX apresentou ganhos e economia com a priorização dos conjuntos com melhor índice sem a necessidade de Capital Expendire (CAPEX) e também demonstrou ganho quando comparando a remodelação dos conjuntos. Após a reforma dos conjuntos todos os grupos atingem o indicador G1. O indicador permite a operação manter os conjuntos operando em excelência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BS 5860:1980. *Method for measuring the efficiency of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines (thermodynamic method)*.
2. BS EN ISO 60041-1995, *Field Acceptance Tests to Determine the Hydraulic Performance of Hydraulic Turbines, Storage Pumps and Pump-Turbines*.
3. BS EN ISO 5198-1999, *Centrifugal, mixed flow and axial pumps. Code for hydraulic performance tests. Precision class*
4. BS EN ISO 9906-2012, *Rotodynamic Pumps — Hydraulic Performance Acceptance Tests — Grades 1, 2 and 3*.
5. BS EN ISO 13709:2009, *Centrifugal pumps for petroleum, petrochemical and natural gas industries*
6. *Pump Centre Report (Thermo Testing) IGHEM1996\_381*.
7. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. Disponível em < <http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/> >.
8. Water Industry Mechanical and Electrical Specifications - WIMES 114i1 - *Pump Overhaul*.