



## COMPARATIVO DE MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE RENDIMENTO DE BOMBAS TERMODINÂMICO E CONVENCIONAL- CASE CRAT INTERLAGOS

### RESUMO

A Unidade de Negócios Metropolitana Sul (MS) trabalha incessantemente na busca de tecnologias e ações visando otimizar a operação dos sistemas de bombeamento de água e esgoto, os maiores consumidores de energia da Sabesp, contribuindo assim para a redução do consumo de forma sustentável e inteligente com o uso racional de energia.

O “Método de Medição Termodinâmica”, é um método utilizado eficazmente em um *case de sucesso* na “Estação Elevatória com Centro de Reservação de Água Tratada (CRAT) Interlagos”, sistema responsável pelo abastecimento de mais de 800 mil pessoas na região Sul da cidade de São Paulo.

O “Método de Medição Termodinâmico” é um clássico sistema para determinar o rendimento em máquinas operacionais que, atrelado à moderna instrumentação analítica cuja precisão é de mais de 99%, contribuiu para leituras rápidas, confiáveis e que não impactaram a operação do sistema.

O estudo foi mais uma ação para a redução nos gastos com energia, avaliamos uma estação que possui grupos de grande porte e poderiam nos demonstrar com mais detalhes a metodologia empregada, e a replicabilidade em outros locais da MS.

As ações sugeridas consistem na reforma, na troca dos equipamentos ou apenas mudanças na regra operacional dos conjuntos atualmente instalados. As leituras obtidas por este método, complementadas por estudos adicionais, possibilitaram aos gestores técnicos definirem que num primeiro momento sem nenhum investimento, apenas a mudança de regra operacional contribuiria para reduzir o custo operacional da estação em 2,5% referente ao consumo específico de energia elétrica (kWh/m<sup>3</sup>), num segundo momento, iremos reformar um dos conjuntos motobomba, visando elevar o seu rendimento para padrões de fabricação.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Eficiência Energética, metodologia TERMODINÂMICA, curva de rendimento.*

### CONTEÚDO DO TRABALHO

#### 1. INTRODUÇÃO

A SABESP é uma empresa de economia a mista e capital aberto que tem como principal acionista o Governo do Estado de São Paulo. A empresa atua como concessionária de serviços sanitários municipais. Seu objetivo é atender às necessidades de saneamento ambiental: planejar, executar e operar sistemas de água potável, esgotos e efluentes industriais, melhorando a qualidade de vida da população e preservando o meio ambiente, além de buscar rentabilidade aos seus acionistas.

A MS, Unidade de negócio Sul, atua em mais de 350 instalações, dentre elas: 148 Elevatórias de Esgoto, 108 Boosteres, 15 poços, 14 Centros de Reservação, 17 Elevatórias de Água, 4 Estações de Tratamento e outras, somando um consumo médio mensal de 5,58 GWh (Giga Watt Hora) à um custo médio de 2,65 milhões mês, por ano em torno de 31,8 milhões ano. Sendo a segunda maior despesa da UN, estamos sempre em busca constante por uma melhor eficiência energética de nossas instalações operacionais, neste contexto a medição da curva de rendimento dos conjuntos moto-bomba é primordial para uma tomada de decisão buscando a redução no custo operacional de nossas estações de bombeamento.

#### 2. OBJETIVOS

O Objetivo deste trabalho é apresentar a metodologia utilizada e os resultados obtidos na medição de rendimento dos conjuntos moto-bomba do CRAT Interlagos, zona sul da cidade de São Paulo.



### **3. METODOLOGIA UTILIZADA**

#### **3.1 Histórico da metodologia TERMODINÂMICA;**

O método termodinâmico foi desenvolvido concomitantemente na década de 1960 na *Universidade de Glasgow* e na *Universidade de Strathclyde* na Escócia, e no *Laboratório Nacional de Engenharia na França* (Electricité de France) e *Austin Whillier* (Câmara de Minas, Joanesburgo, África do Sul). *Whillier* publicou um artigo intitulado "Determinação da eficiência da bomba a partir de medições de temperatura" na edição de outubro de 1967 do *The South African Mechanical Engineer* descrevendo o método.

O método é baseado na avaliação de energia por unidade de massa líquida, transferido pelo eixo da bomba e recebido pelo líquido, essa avaliação é possível por meio da medição do diferencial de altura manométrica e temperatura fluido através da bomba utilizando propriedades termodinâmica do fluido (IGHEM 1996).

Desde aquela época, o método termodinâmico foi rigorosamente verificado em muitos casos por diferentes empresas, incluindo:

- Centro de Pesquisa da Água (UK)
- Laboratórios Nacionais de Engenharia (UK)
- Central de Geração de Eletricidade (UK)
- Universidade de Exeter (Reino Unido)
- Universidade de Damstadt (Alemanha)
- ATAP [7] - Yatesmeter (Canadá)
- Hydratek & Associates Inc. (Canadá)
- Flowserve
- Sulzer
- Açude
- Ebara
- KSB
- SPP
- Riventa

O método de teste de bomba termodinâmica está agora incluído nos padrões de teste de bombas, como o BS ISO 5198: Centrífuga, fluxo misto e bombas axiais - Código para testes de desempenho hidráulico - Classe Precision.

#### **3.2 Método e Equipamento**

A ineficiência das bombas é transmitida através do meio de temperatura. Assim, quase toda a energia perdida devido à ineficiência de uma bomba causa um aumento na temperatura do fluido que está sendo bombeado. O método termodinâmico aproveita esse fato e mede com precisão a diferença de temperatura em uma bomba para calcular a eficiência da bomba. Medições de pressão são usadas para calcular a altura manométrica da bomba, e um medidor de energia é usado para medir a potência de entrada para a bomba. Usando as medições de temperatura, potência e pressão, o fluxo pode ser recalculado usando a equação da bomba.

A medição de temperatura é crítica e, conseqüentemente, os distribuidores comerciais de equipamentos de teste de bomba termodinâmicos costumam citar uma precisão maior que 0,001 ° C. Essa precisão é necessária, pois o aumento de temperatura em uma bomba pode ser menor que 0,05 ° C.



Tipicamente, as sondas de temperatura são inseridas diretamente no fluxo, e as medições de altura manométrica são tiradas das torneiras nas seções de sucção e recalque. Então, a pressão na bomba é variada pela válvula de recalque, utilizando diferentes combinações de abertura de válvulas e associações em paralelo. Isso permite que o desempenho da bomba seja testado em toda a sua faixa de operação, pois sua altura e o fluxo são variados.

### 3.3 Método Termodinâmico x Método Convencional

O método de teste de bomba convencional é um método que se baseia em medições de vazão, pressão e potência elétrica, para obter as curvas de desempenho das bombas, conforme fig. 1.

**Conventional**  
(pressure – volume)  
method

BS EN ISO 9906:2012  
IEC 60041  
ISO 5199

$$P_e \cdot \eta_p \cdot \eta_m = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Eficiência da bomba,  $\eta_p$  = Calculado  
Outros valores medidos

fig. 1

Assim, o método termodinâmico difere do método de teste de bomba convencional em grande parte no que é medido e como esses valores são calculados.

**Thermodynamic**  
(enthalpy – entropy)  
method

BS EN ISO 9906:2012  
IEC 60041  
ISO 5198/9  
Pump Centre 69527

$$P_e \cdot \eta_p \cdot \eta_m = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Vazão,  $Q$  = Calculada  
Outros valores medidos

fig. 2

A principal diferença entre os dois métodos é que o método convencional calcula a eficiência através da medição direta das outras variáveis, enquanto o método termodinâmico mede diretamente o rendimento e com isso é possível calcular a vazão conforme o quadro acima fig. 2.

Outra grande diferença é quando falamos da medição de vazão na comparação dos métodos, enquanto no método convencional a medição de vazão fica imprecisa por bomba quando executamos as associações de conjuntos, pois não existe uma medição de vazão individualizada de cada conjunto, o método termodinâmico consegue determinar com a mesma precisão da medição do grupo individualizado a vazão do conjunto que está sendo medido na associação, trazendo uma informação ainda mais precisa e detalhada do ensaio.

Devido a imprecisão da medição individualizada de cada grupo na associação, a precisão da eficiência calculada no método convencional pode ficar comprometida em relação a mesma medição de quando o grupo está trabalhando isoladamente. Da mesma forma, no método termodinâmico, a precisão da vazão calculada depende da precisão das medições da altura manométrica, rendimento da bomba e potência consumida, como esta medição independe da associação, continuamos com medições precisas.

### 3.4 Requisitos do teste

Outra diferença importante entre os dois métodos são os requisitos de configuração do teste.

O método convencional necessita de requisitos de tubulação mais rigorosos, geralmente exigindo mais de 5 diâmetros de tubo reto a montante do medidor de vazão, a fim de fornecer a precisão da vazão medida.

O método termodinâmico, no entanto, normalmente requer apenas 1-2 diâmetros de tubo reto a montante do equipamento, a fim de alcançar precisões citadas. Consequentemente, o método termodinâmico é frequentemente capaz de realizar testes de campo que não podem ser realizados por um teste convencional.

O Gráfico abaixo apresenta as incertezas e limitantes para metodologia isso é demonstrado pelas curvas com os distintos rendimentos que consequentemente dependem de diferentes alturas manométricas para se obter erros menores que 1% na medição do rendimento.

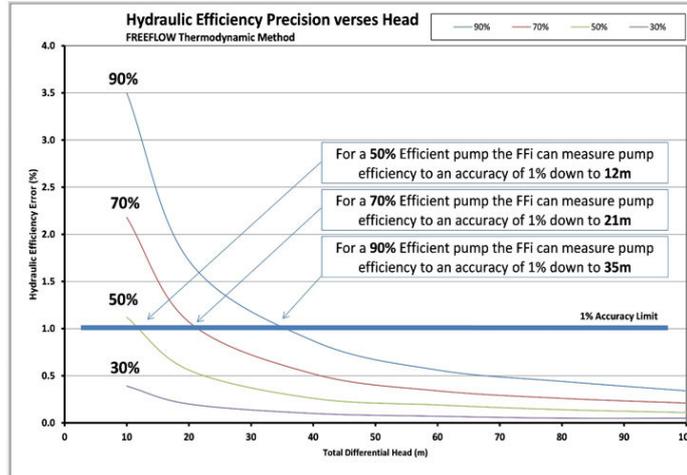


fig.3

### 3.5 Método de instalação

Para instalação dos equipamentos são normalmente utilizados TAP's existentes na tubulação, que na grande maioria das vezes já atendem os requisitos de 1-2 diâmetros, a única observação a se fazer é que na saída do TAP necessita de uma válvula gaveta e de uma passagem de no mínimo 1/2", para a passagem da sonda de medição.

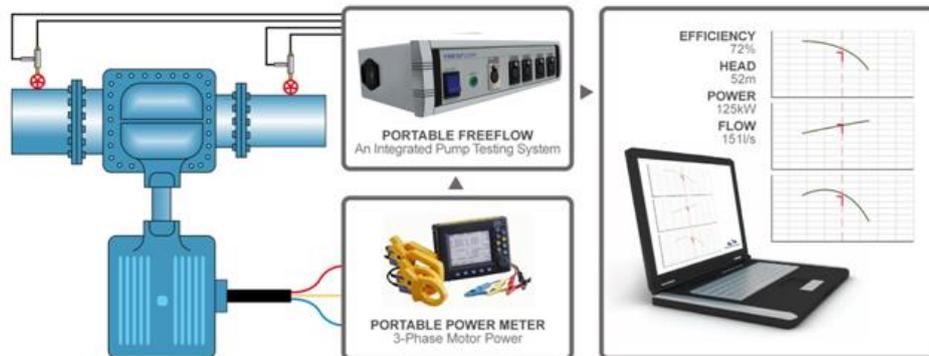


fig. 4

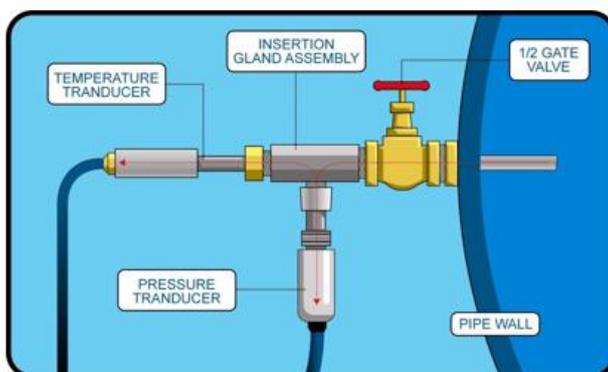


Fig.5



### 3.6 Medição CRAT Interlagos

O CRAT (Centro de Reservação de Água Tratada) Interlagos, localizado na zona sul da cidade de São Paulo, em frente ao autódromo de Interlagos, é composto por 5 reservatórios e duas estações elevatórias, sendo uma delas para transferência de água para os CRAT Grajaú (alvo da medição) e a outra para abastecimento de Zona Alta.



A EEAT (Estação Elevatória de Água Tratada) Interlagos - Grajaú é uma edificação convencional de recalque, que abriga 4 conjuntos motobombas. Operacionalmente estão disponíveis os conjuntos motobombas nº 06, 07 e 08. O conjunto motobomba nº 09 está inoperante e, por isso, seu desempenho não foi avaliado no estudo.

As bombas existentes na estação são centrífugas, de eixo horizontal, de dupla sucção e carcaça bipartida radialmente. A sucção da estação elevatória é feita por um barrilete interligado a todas as câmaras do reservatório; com exceção da câmara 01. A principal finalidade da estação elevatória Interlagos - Grajaú é recalcar água para o reservatório Grajaú.

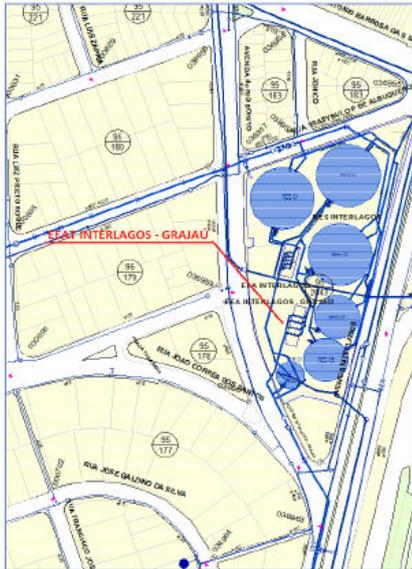


fig. 5

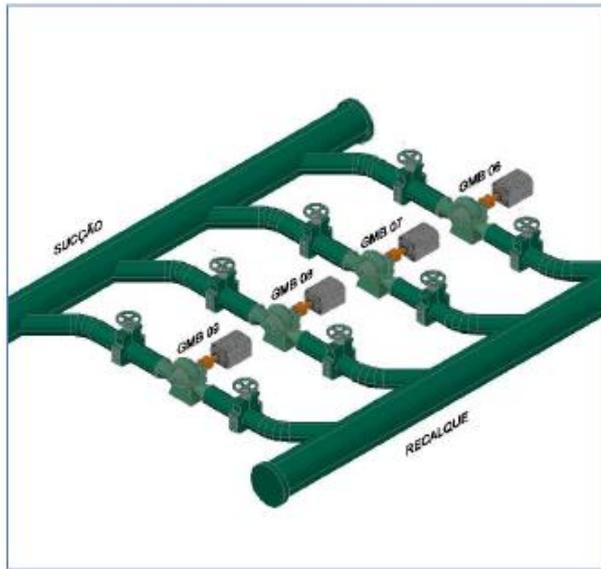


fig.6

### 3.6.1 Dados dos grupos:

#### A) Grupo 06

BOMBA	
Fabricante:	KSB
Modelo:	RDLG 400-850
Vazão:	1380 m <sup>3</sup> /h
Altura manométrica:	92 mca
Diâmetro do rotor:	---
Rotação:	1190
N.º de série / BP:	OP 865994 - BP 1668396
MOTOR	
Fabricante/ Modelo:	
Potência:	700 CV - 514,7 KW
Tensão:	3800 V
Corrente nominal / Rotação:	94,4 A
Fator de Serviço:	1,0
Ordem de Fabricação:	65998 - BP 1668401

fig.7

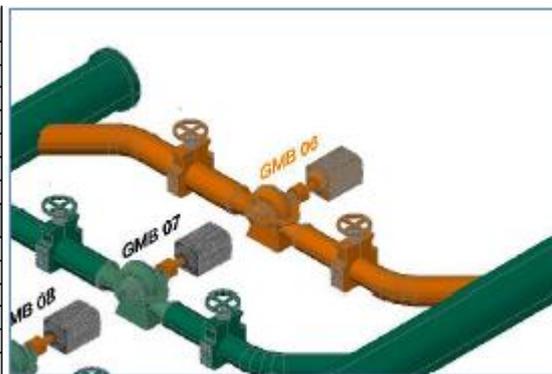


fig.8



Grupo 07

BOMBA	
Fabricante:	KSB
Modelo:	RDLG 400-850
Vazão:	1380 m <sup>3</sup> /h
Altura manométrica:	92 mca
Diâmetro do rotor:	---
Rotação:	1190
N.º de série / BP:	OP 865995 - BP 1668402
MOTOR	
Fabricante/ Modelo:	---
Potência:	700 CV - 514.7 KW
Tensão:	3800 V
Corrente nominal / Rotação:	94,4 A
Fator de Serviço:	1,0
Ordem de Fabricação:	65997 - BP 1668403

fig.9

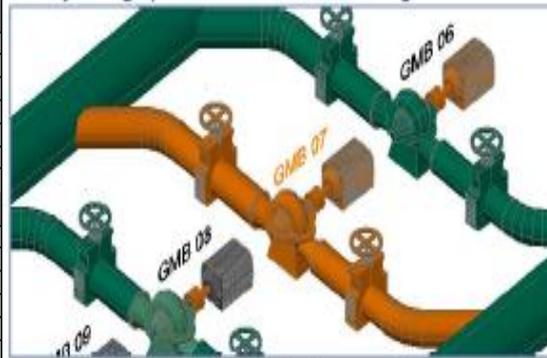


fig.10

B) Grupo 08

BOMBA	
Fabricante:	KSB
Modelo:	RDLG 400-850
Vazão:	1380 m <sup>3</sup> /h
Altura manométrica:	92 mca
Diâmetro do rotor:	---
Rotação:	1190
N.º de série / BP:	OP 865993 - BP 1668404
MOTOR	
Fabricante / Modelo:	---
Potência:	700 CV - 514.7 KW
Tensão:	3800 V
Corrente nominal / Rotação:	94,4 A
Fator de Serviço:	1,0
Ordem de Fabricação / BP:	65999 - BP 1668405

fig.11

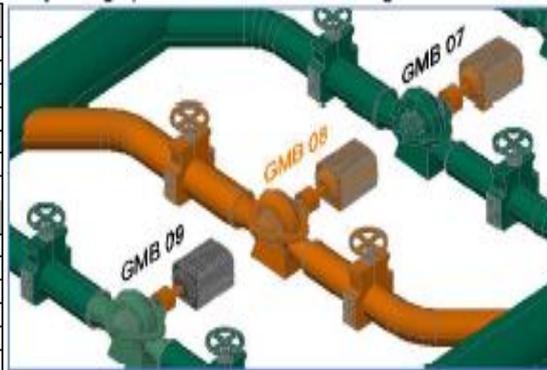


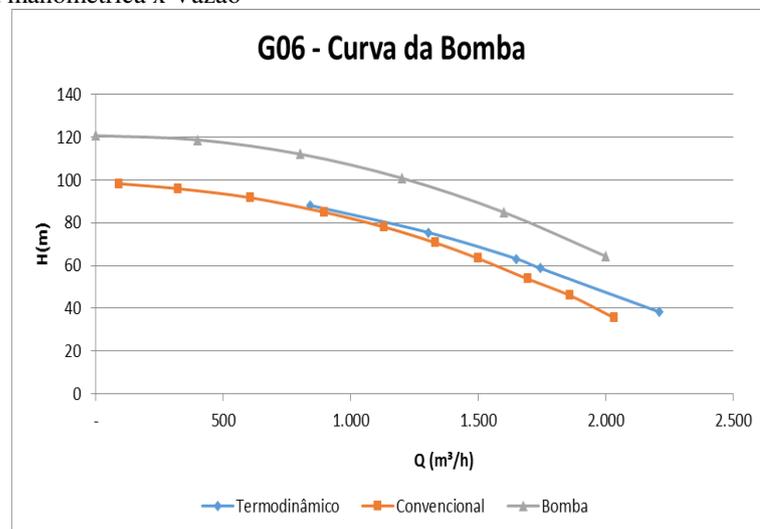
fig.12

#### 4. RESULTADOS OBTIDOS

Para avaliarmos a qualidade do resultado da medição, realizamos duas medições, sendo a do método termodinâmico com empresa terceirizada e do método convencional com a equipe de pitometria própria da Sabesp, após as medições avaliarmos os dois resultados foram realizados comparativos entre as metodologias.

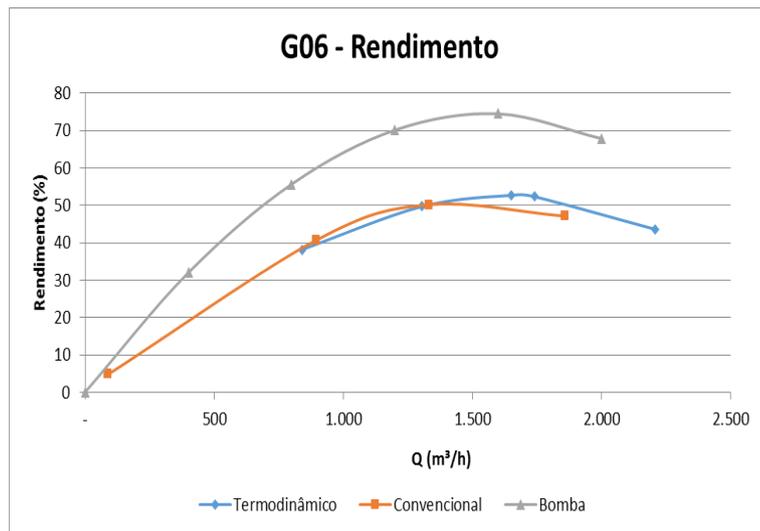
##### 4.1 Grupo 06

###### A) Altura manométrica x Vazão





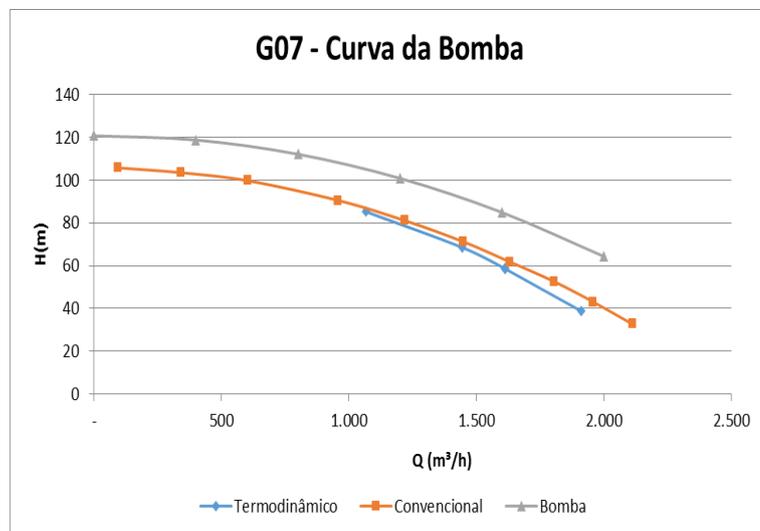
B) Rendimento



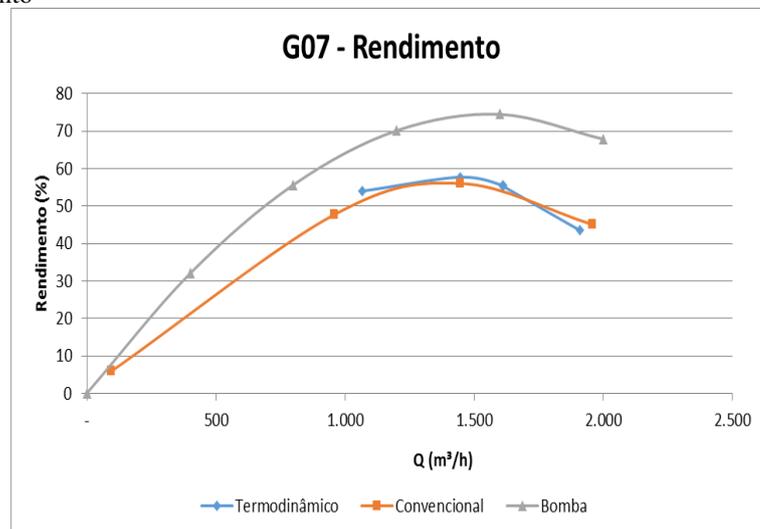
Rendimento no melhor ponto de operação 53%

4.2 Grupo 07

A) Altura manométrica x Vazão



B) Rendimento

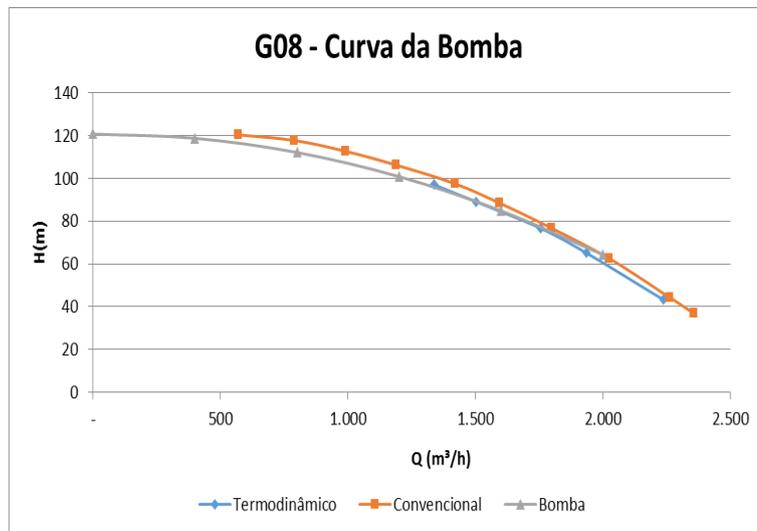


Rendimento no melhor ponto de operação 58%

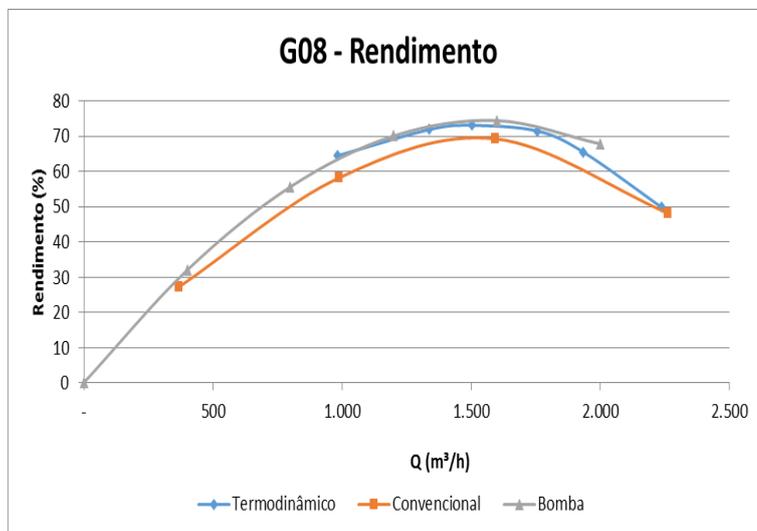


#### 4.3 Grupo 08

##### A) Altura manométrica x Vazão



##### B) Rendimento



Rendimento no melhor de operação 73%

## 5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conforme demonstrados nos gráficos anteriores, podemos observar que ambos os métodos estão parecidos e próximos em seus resultados, as variações dos valores são em consequência da precisão das medições efetuadas, conforme certificado de calibração o erro da medição de vazão no método convencional pode chegar a 2,3%, enquanto no método termodinâmico temos um erro menor do que 1%.

Para as medições nos métodos convencionais, além da instalação de medidor de energia são instalados os equipamentos que fazem a medição de vazão, as leituras de pressão são manuais anotadas em uma planilha e nem sempre são sincronizadas no mesmo instante, podendo aumentar o erro da medição, além disso é necessária uma equipe grande para instalar e coletar todas as informações necessárias para o estudo.



Já para as medições pelo método termodinâmico, é instalado o medidor de energia, os pontos de medição de pressão e temperatura na sucção e no recalque. O equipamento faz a leitura de todos os parâmetros simultaneamente, diminuindo consideravelmente os erros de medição por informações não sincronizadas.

Após as medições foram elaborados os relatórios contendo as possibilidades e os valores envolvidos em cada uma delas para melhoria da eficiência energética da estação de bombeamento.

**Opção 1: Reformar as bombas e manter a mesma porcentagem de operação do estado atual**

Parâmetros	Condição Atual				Nova Condição				Unidade
	1 bomba	2 //	3//	Aggregate	1 bomba	2 //	3//	Aggregate	
Vazão	2.119	3.466	4.201	<b>3.081</b>	2.341	3.827	4.605	<b>3.509</b>	m <sup>3</sup> /h
Altura Manométrica	40,2	62,4	77,8	<b>56,2</b>	43,2	69,2	87,9	<b>64</b>	m
Rendimento da Bomba	45,6	58,1	59,0	<b>54,3</b>	52,9	70,2	74,5	<b>66</b>	%
Potência no eixo	508,5	1013,7	1508,9	<b>877</b>	520,9	1027,4	1479,9	<b>924</b>	kW
Rendimento do motor	90,0	90,0	90,0	<b>90</b>	90,0	90,0	90,0	<b>90</b>	%
Potência do motor	565	1.126	1.677	<b>975</b>	579	1.142	1.644	<b>1.027</b>	kW
Consumo específico de energia	266,6	325,0	399,1	<b>310</b>	247,3	298,3	357,1	<b>288</b>	kWh/MI
Utilização	<b>19</b>	<b>42</b>	<b>2,3</b>	<b>63</b>	<b>13</b>	<b>41</b>	<b>1,5</b>	<b>55</b>	%
Horas de operação	1.691	3.635	201	<b>5.528</b>	1105,7928	3.615	131,77842	<b>4.853</b>	Hrs/Ano
Volume total bombeado	3.583	12.600	846	<b>17.030</b>	2.588	13.835	607	<b>17.030</b>	MI/Ano
Consumo de energia	955.312	4.094.613	337.795	<b>5.387.720</b>	640.031	4.127.075	216.685	<b>4.983.792</b>	kWh/Ano
Tarifa média	<b>0,40</b>	0,40	0,40	<b>0,40</b>	0,40	0,40	0,40	<b>0,40</b>	R\$/Ano
Custo com energia	382.125	1.637.845	135.118	<b>2.155.088</b>	256.012	1.650.830	86.674	<b>1.993.517</b>	R\$/Ano
Energy Cost	91.710	393.083	32.428	<b>517.221</b>	61.443	396.199	20.802	<b>478.444</b>	£/Year

Dinheiro salvo com a reforma **161.571 R\$/Ano**

38.777 £/Ano

Est Max CAPEX for 3 Year Payback Period **484.714 R\$**

116.331 £

**Opção 2: Reformar as bombas & operar somente com 2 //**

Parâmetros	Condição Atual				Nova Condição				Unidade
	1 bomba	2 //	3//	Aggregate	1 bomba	2 //	3//	Aggregate	
Vazão	2.119	3.466	4.201	<b>3.081</b>	2.341	3.827	4.605	<b>3.827</b>	m <sup>3</sup> /h
Altura Manométrica	40,2	62,4	77,8	<b>56,2</b>	43,2	69,2	87,9	<b>69</b>	m
Rendimento da Bomba	45,6	58,1	59,0	<b>54,3</b>	52,9	70,2	74,5	<b>70</b>	%
Potência no eixo	508,5	1013,7	1508,9	<b>877</b>	520,9	1027,4	1479,9	<b>1.027</b>	kW
Rendimento do motor	90,0	90,0	90,0	<b>90</b>	90,0	90,0	90,0	<b>90</b>	%
Potência do motor	565	1.126	1.677	<b>975</b>	579	1.142	1.644	<b>1.142</b>	kW
Consumo específico de energia	266,6	325,0	399,1	<b>310</b>	247,3	298,3	357,1	<b>298</b>	kWh/MI
Utilização	<b>19</b>	<b>42</b>	<b>2,3</b>	<b>63</b>	<b>0</b>	<b>51</b>	<b>0</b>	<b>51</b>	%
Horas de operação	1.691	3.635	201	<b>5.528</b>	0	4.450	0	<b>4.450</b>	Hrs/Ano
Volume total bombeado	3.583	12.600	846	<b>17.030</b>	0	17.030	0	<b>17.030</b>	MI/Ano
Consumo de energia	955.312	4.094.613	337.795	<b>5.387.720</b>	0	5.080.153	0	<b>5.080.153</b>	kWh/Ano
Tarifa média	<b>0,40</b>	0,40	0,40	<b>0,40</b>	0,40	0,40	0,40	<b>0,40</b>	R\$/Ano
Custo com energia	382.125	1.637.845	135.118	<b>2.155.088</b>	0	2.032.061	0	<b>2.032.061</b>	R\$/Ano
Energy Cost	91.710	393.083	32.428	<b>517.221</b>	0	487.695	0	<b>487.695</b>	£/Year

Dinheiro salvo com a reforma **123.027 R\$/Ano**

29.526 £/Ano

Est Max CAPEX for 3 Year Payback Period **369.081 R\$**

88.579 £



**Opção 3: Reformar as bombas & operar somente com 1 bomba**

Parâmetros	Condição Atual				Nova Condição				Unidade
	1 bomba	2 //	3//	Aggregate	1 bomba	2 //	3//	Aggregate	
Vazão	2.119	3.466	4.201	<b>3.081</b>	2.341	3.827	4.605	<b>2.341</b>	m <sup>3</sup> /h
Altura Manométrica	40,2	62,4	77,8	<b>56,2</b>	43,2	69,2	87,9	<b>43</b>	m
Rendimento da Bomba	45,6	58,1	59,0	<b>54,3</b>	52,9	70,2	74,5	<b>53</b>	%
Potência no eixo	508,5	1013,7	1508,9	<b>877</b>	520,9	1027,4	1479,9	<b>521</b>	kW
Rendimento do motor	90,0	90,0	90,0	<b>90</b>	90,0	90,0	90,0	<b>90</b>	%
Potência do motor	565	1.126	1.677	<b>975</b>	579	1.142	1.644	<b>579</b>	kW
Consumo específico de energia	266,6	325,0	399,1	<b>310</b>	247,3	298,3	357,1	<b>247</b>	kWh/MI
Utilização	19	42	2,3	<b>63</b>	83	0	0	<b>83</b>	%
Horas de operação	1.691	3.635	201	<b>5.528</b>	7.276	0	0	<b>7.276</b>	Hrs/Ano
Volume total bombeado	3.583	12.600	846	<b>17.030</b>	17.030	0	0	<b>17.030</b>	MI/Ano
Consumo de energia	955.312	4.094.613	337.795	<b>5.387.720</b>	4.211.420	0	0	<b>4.211.420</b>	kWh/Ano
Tarifa média	0,40	0,40	0,40	<b>0,40</b>	0,40	0,40	0,40	<b>0,40</b>	R\$/Ano
Custo com energia	382.125	1.637.845	135.118	<b>2.155.088</b>	1.684.568	0	0	<b>1.684.568</b>	R\$/Ano
Energy Cost	91.710	393.083	32.428	<b>517.221</b>	404.296	0	0	<b>404.296</b>	£/Year

Dinheiro salvo com a reforma **470.520 R\$/Ano**

112.925 £/Ano

Est Max CAPEX for 3 Year Payback Period **1.411.560 R\$**

338.774 £

**Opção 4: Reformar bombas, trocar os motores e operar com 1 ou 2 //**

Parâmetros	Condição Atual				Nova Condição				Unidade
	1 bomba	2 //	3//	Aggregate	1 bomba	2 //	3//	Aggregate	
Vazão	2.119	3.466	4.201	<b>3.081</b>	2.341	3.827	4.605	<b>2.341</b>	m <sup>3</sup> /h
Altura Manométrica	40,2	62,4	77,8	<b>56,2</b>	43,2	69,2	87,9	<b>64</b>	m
Rendimento da Bomba	45,6	58,1	59,0	<b>54,3</b>	52,9	70,2	74,5	<b>66</b>	%
Potência no eixo	508,5	1013,7	1508,9	<b>877</b>	520,9	1027,4	1479,9	<b>924</b>	kW
Rendimento do motor	90,0	90,0	90,0	<b>90</b>	95,5	95,5	95,5	<b>96</b>	%
Potência do motor	565	1.126	1.677	<b>975</b>	545	1.076	1.550	<b>968</b>	kW
Consumo específico de energia	266,6	325,0	399,1	<b>310</b>	233,1	281,1	336,5	<b>272</b>	kWh/MI
Utilização	19	42	2,3	<b>63</b>	13	41	2	<b>55</b>	%
Horas de operação	1.691	3.635	201	<b>5.528</b>	1.106	3.615	131,77842	<b>4.853</b>	Hrs/Year
Volume total bombeado	3.583	12.600	846	<b>17.030</b>	2.588	13.835	607	<b>17.030</b>	MI/Year
Consumo de energia	955.312	4.094.613	337.795	<b>5.387.720</b>	603.171	3.889.390	204.206	<b>4.696.767</b>	kWh/Year
Tarifa média	0,40	0,40	0,40	<b>0,40</b>	0,40	0,40	0,40	<b>0,40</b>	BR/kWh
Custo com energia	382.125	1.637.845	135.118	<b>2.155.088</b>	241.268	1.555.756	81.682	<b>1.878.707</b>	BR/Year
Energy Cost	91.710	393.083	32.428	<b>517.221</b>	57.904	373.381	19.604	<b>450.890</b>	£/Year

Dinheiro salvo com a reforma **276.381 R\$/Ano**

66.332 £/Ano

Est Max CAPEX for 3 Year Payback Period **829.144 R\$**

198.995 £

**Opção 5: substituir as bombas & motores & operar com 1 bomba ou 2//**

Parâmetros	Condição Atual				Nova Condição				Units
	1 bomba	2 //	3//	Aggregate	1 bomba	2 //	3//	Aggregate	
Vazão	2.119	3.466	4.201	<b>3.081</b>	2.341	3.827	4.605	<b>3.509</b>	m <sup>3</sup> /h
Altura Manométrica	40,2	62,4	77,8	<b>56,2</b>	43,2	69,2	87,9	<b>64</b>	m
Rendimento da Bomba	45,6	58,1	59,0	<b>54,3</b>	80,0	83,0	82,0	<b>82</b>	%
Potência no eixo	508,5	1013,7	1508,9	<b>877</b>	344,3	869,5	1344,1	<b>763</b>	kW
Rendimento do motor	90,0	90,0	90,0	<b>90</b>	95,5	95,5	95,5	<b>96</b>	%
Potência do motor	565	1.126	1.677	<b>975</b>	361	910	1.407	<b>799</b>	kW
Consumo específico de energia	266,6	325,0	399,1	<b>310</b>	154,0	237,9	305,6	<b>221</b>	kWh/MI
Utilização	19	42	2,3	<b>63</b>	13	41	2	<b>55</b>	%
Horas de operação	1.691	3.635	201	<b>5.528</b>	1.106	3.615	131,77842	<b>4.853</b>	Hrs/Year
Volume total bombeado	3.583	12.600	846	<b>17.030</b>	2.588	13.835	607	<b>17.030</b>	MI/Year
Consumo de energia	955.312	4.094.613	337.795	<b>5.387.720</b>	398.641	3.291.618	185.467	<b>3.875.727</b>	kWh/Year
Tarifa média	0,40	0,40	0,40	<b>0,40</b>	0,40	0,40	0,40	<b>0,40</b>	BR/kWh
Custo com energia	382.125	1.637.845	135.118	<b>2.155.088</b>	159.457	1.316.647	74.187	<b>1.550.291</b>	BR/Year
Energy Cost	91.710	393.083	32.428	<b>517.221</b>	38.270	315.995	17.805	<b>372.070</b>	£/Year

Dinheiro salvo com a reforma **604.797 R\$/Ano**

145.151 £/Ano

Est Max CAPEX for 3 Year Payback Period **1.814.392 R\$**

435.454 £



A pior bomba está sendo usada a maioria do tempo e a melhor bomba sendo usada menos tempo. A preferência operacional deve ser alterada para favorecer a bomba G8 como a bomba de serviço e ter G6 ou G7 como segundo grupo a operar.

Com isso foi alterado a regra operacional da estação operando sempre inicialmente com o G08, entrando na sequencia o G07. Para efeitos de estudo estamos programando a reforma do G06, onde após esta efetuaremos uma nova medição para verificar a eficácia da reforma do conjunto e comprovar as indicações feitas pela medição termodinâmica.



## 6. CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Após as análises das informações gerados pelas medições, consideramos o estudo de caso um sucesso, pois além de conseguirmos um panorama geral de nossa estação, uma perspectiva de economia com investimentos de reforma dos conjuntos ou a compra de novos equipamentos, foi possível já iniciarmos uma redução de energia considerável apenas alterando a metodologia de operação da estação.

Observamos também que qualquer das metodologias nos trariam resultados parecidos, nesse quesito podemos comparar a praticidade da medição efetuada pelo método termodinâmico, que além de nos possibilitar uma medição mais precisa, não necessita de grandes estruturas para serem executadas, além da mão de obra utilizada ser muito menor que o método convencional.

- Dado que as bombas operam apenas 62% do ano em um fluxo médio global de 3210 m<sup>3</sup>/h, um menor fluxo pode ser executado por mais tempo para alcançar o mesmo volume?
- Os motores foram rebobinados várias vezes ao longo de suas vidas, por isso consideramos o seu rendimento em torno de 90%. Recomenda-se que isso seja medido, pois podemos aumentar o retorno colocando um motor com um rendimento maior.
- Existe a possibilidade de melhorar a eficiência da bomba além do padrão do fabricante, se o escopo do trabalho incluir o uso de revestimentos de baixa fricção em passagens hidráulicas internas, anilhas de desgaste não revestidas, alteração cuidadosa do ângulo do rotor quando aplicável.
- Recomenda-se que o alcance da remodelação dos trabalhos seja cuidadosamente construído para aproveitar os recentes componentes e técnicas inovadoras de bombas.
- Qualquer bomba nova precisaria acomodar o mesmo acoplamento do motor e a disposição da placa de base para minimizar o custo. No entanto, espera-se que uma melhoria considerável da eficiência seja possível através da renovação, embora com um preço significativo.



## 7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

1. THERMODYNAMIC METHOD PUMP EFFICIENCY. Disponível em: <  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Thermodynamic\\_pump\\_testing](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermodynamic_pump_testing)> . Acesso em: 08/05/2018.
2. Relatório Técnico MAGG – 168/2017 EEAT INTERLAGOS – GRAJAÚ – Elaborado por: Aduino Luiz de Souza da Silva
3. Relatório Técnico MME 2371/17 MAGG- EEAT INTERLAGOS-GRAJAÚ – Elaborado por: Ulisses de Carvalho
4. Pump Centre Report 695/27