

A História das medições de vazão na Estação Elevatória de Água Bruta Santa Inês - ESI

RESUMO

A crise hídrica que vivenciamos há poucos anos no sudoeste do país, principalmente na região metropolitana de São Paulo - RMSP e em algumas cidades do interior do Estado, forçou nos a quebrar vários paradigmas partindo para soluções rápidas e eficientes que atendessem as nossas necessidades para garantir o abastecimento de água, através de soluções técnicas e principalmente dentro dos padrões de potabilidade, trabalhando dentro dos conceitos de segurança exigidos.

Dizem que sempre há um lado bom das guerras, (se é que podemos falar desta forma "lado bom") crises, catástrofes da natureza, acidentes que apesar do lado negativo, deixam a todos nós um legado. O gás cloro que foi utilizado como terrível arma química na grande guerra, hoje é um dos mais eficientes produtos aplicado na desinfecção que conhecemos. Não esqueçamos ainda que também foi durante a segunda guerra mundial, onde milhares morriam por infecções causadas pelos ferimentos, surgiu ai a Penicilina, eficiente medicamento utilizado em larga escala até nos nossos dias. Além disso, conceitos como mantabilidade, confiabilidade e gerencia de riscos, surgiram após centenas de acidentes aéreos, tornando hoje a aviação, um dos transportes mais seguros que existem.

Fazendo uma analogia com o tema em questão que envolve a historia da medição de vazão, sabemos que tudo começou com os engenheiros franceses Henry Pitot em 1732 e Henri Darcy 125 após, introduziram a mais confiável técnica de medição existente.

Na década de 70 com a implantação do sistema de abastecimento de água do Cantareira, o maior e mais importante sistema de abastecimento de água da RMSP, responsável por 60% do abastecimento de água. Nele existe uma das mais extraordinárias obras de engenharia já executadas que foi batizada de Estação Elevatória Santa Inês ou ESI como todos nós conhecemos. Construída a mais de 60 metros de profundidade, encravada na rocha. A ESI junto com a Estação de Tratamento de Água do Guaraú são as principais unidades do Sistema de Abastecimento de Água do Cantareira.

Na concepção deste sistema técnicas inéditas foram utilizadas devido à grandiosidade de suas dimensões como as 3 bombas na sua concepção inicial que recalavam cada uma, 11 m³/s, totalizando 33m³/s.

Para medir esta vazão foi implantado o chamado "Sistema de Prova de Campo das Bombas Principais" o qual era composto de um tanque com solução salina, (cloreto de sódio e água), o qual se tratava de injetar esta solução na saída de cada bomba em um determinado ponto e a existência de outros dois pontos de coleta, onde sensores identificavam através da colorimetria a passagem destes sais. Por diferença entre o tempo de injeção e o tempo de coleta desta solução, calculava-se a vazão em cada linha de recalque dos respectivos conjuntos moto-bombas. Não se sabe o porquê este sistema foi abandonado, ficando a ESI sem medidor algum de vazão.

Nos anos 90 o Instituto Paulista de Tecnologia – IPT, foi contratado para efetuar a medição de vazão na ESI e a opção encontrada, foi desenvolver um sistema de comporta a montante do túnel 1, chegando ao resultado esperado na ocasião.

Tentativas posteriores em outras ocasiões foram testadas para medir as vazões com medidor ultrassônico tipo Clamp on, devido ao pouco espaço existente no local e a quantidade de singularidades existentes, impossibilitavam de utilizar o método convencional com o tubo Pitot.

Os ensaios com o medidor tipo Clamp on não obtiveram resultados conclusivos, muito provável devido a interferências eletromagnéticas das bombas na proximidade dos pontos de medição.

O problema esteve de certa forma sem solução até que com o período da crise hídrica, entre 2013 e 2015, o sistema Cantareira foi obrigado a manter suas vazões reduzidas, o que possibilitou que a área de metrologia hidrodinâmica da MAGG/ Sabesp, entrasse em ação e iniciasse uma série de testes no local, trabalhando em um grupo moto bomba por vez.

Inicialmente foi utilizado o medidor de vazão tipo Clamp on, o qual apresentou resultados muito próximos do esperado, mas resultados estes que não se repetiram em outras ocasiões, provavelmente por interferência dos conjuntos moto bombas e não pudemos concluir o levantamento.

Começamos então a estudar, formas de instalar pontos para utilização do método convencional que mesmo não estando em condições adequadas para instalação das válvulas, foram escolhidos pontos próximo à rede de sucção das bombas, próximo da válvula borboleta existente no local o que não surtiu resultado devido à interferência da mesma como esperado conforme traverse apresentado nos anexos.

Já estávamos desistindo do processo de medição, pois tudo dizia que seria impossível medir as vazões da ESI sem que fizéssemos grandes intervenções quando em uma ultima tentativa, em um espaço muito reduzido localizado entre a válvula de sucção e o conjunto moto bomba para nossa surpresa “Eureca” o ponto se mostrou adequado com resultados dentro do previsto, com base nos dados de projeto.

Hoje podemos dizer que a nossa maior estação de recalque, pode ter sua vazão medida com confiabilidade apresentando valores com um grau de incerteza aceitável.

A crise hídrica que como no início da histórica foi um evento negativo, tornou-se uma alternativa que não tínhamos antes e pudemos ousar sem que com isso prejudicássemos o abastecimento da população, situação esta que em outro período seria impossível de fazer.

Mais um bom exemplo que em situações atípicas, temos que acreditar na criatividade, qualidade esta que todos nós brasileiros temos que os bons resultados aparecem.

PALAVRAS-CHAVE: história, vazão, ESI, medição.

1. OBJETIVO
2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA AVALIADO
3. METODOLOGIA
4. INSTRUMENTOS UTILIZADOS
5. DADOS TÉCNICOS DO CONJUNTO MOTOBOMBA N.º 01
6. RESULTADOS DO ENSAIO
7. CONCLUSÃO
8. DIVULGAÇÃO
9. EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL
10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS
11. ANEXOS

1. OBJETIVO

Tendo em vista a necessidade de ter uma informação precisa da medição de vazão da retirada da quantidade de água recalçada pela Estação Elevatória de Santa Inês – ESI do Sistema Cantareira, varias alternativas foram utilizadas com o passar do tempo em quase seus 50 anos de existência. Do sistema originalmente existente no local utilizando solução salina (desativado) até a medição hoje utilizando o tubo Pitot.

A utilização do tubo Pitot para medição de vazão na ESI tinham sido descartados anteriormente, devido às instalações existentes não atenderem a atual Norma Técnica Sabesp - NTS 280.

Como alternativa ao tubo Pitot, foram feitas medições de vazão através de medidor ultrassônico, tipo Clamano, a qual inicialmente apareceu ser um equipamento viável para o serviço já que dispúnhamos um modelo FUP1010 da Siemens que até o momento o que se tinha era o tempo de funcionamento dos conjuntos moto bombas (através de horímetros) e a vazão nominal, fornecida pelo fabricante de cada equipamento.

Infelizmente os dados de vazão obtidos neste tipo de equipamento (medidor Clamp on), não foram conclusivos, o que nos levou a estaca zero novamente.

Tivemos que quebrar alguns paradigmas, pois estávamos vivenciando uma situação atípica onde a necessidade de se medir a vazão para termos um resultado mais confiável possível era vital e não tínhamos condições de propor obras de intervenção no sistema, nem de parar a operação do sistema, mesmo que fosse por um período muito curto de tempo, pois estamos falando de adutoras de 1800 mm com vazões na ordem de 11 m³/s cada uma das bombas que trabalham no sistema 3 + 1, ou seja, três operando e uma de reserva.

Este trabalho apresenta os resultados dos ensaios realizados para obter as medições das vazões, nos períodos de junho de 2015 até janeiro de 2018, na Estação Elevatória de Água Bruta de Santa Inês. O objetivo deste trabalho é mensurar a vazão de recalque da estação elevatória para fins de balanço hídrico do sistema.

A unidade responsável pela calibração dos macromedidores, ensaios em estações elevatórias e teste de perdas de carga entre outras atividades é o setor de Metrologia Hidrodinâmica que faz parte da Divisão de Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Operacional da Produção – MAGG da Unidade de Negócio da Produção de Água da Produção – MA, da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp.

2. INTRODUÇÃO

A finalidade principal desse sistema é realizar a transposição de água dos reservatórios do Sistema Cantareira, Jaguari, Jacareí, Atibainha e Paiva Castro para o reservatório de Águas Claras. A estação elevatória de água bruta Santa Inês, é uma edificação convencional de recalque, composta por 4 conjuntos moto bomba. Os conjuntos moto bomba de n° 01 a 03 são do Fabricante Hitachi e o conjunto moto bomba n° 04 é de fabricação da Mecânica Pesada. Todos os conjuntos são compostos por bombas centrífugas, de eixo horizontal, de dupla sucção. Cada bomba tem vazão nominal de 11m³/s e altura manométrica nominal (AMT) de 119,6 mca. O acionamento dos conjuntos moto bomba são feitos por 04 motores elétricos de 20.000HP cada; sendo os conjuntos de n° 01 a 03 acionados por motores Mitsubishi e o conjunto n° 04 acionado por um motor Siemens; todos de 20.000 HP cada. A sucção da estação elevatória tem origem em um túnel adutor de Ø 4500 mm, dividindo-se em 4 tubulações de Ø 2400 mm e posteriormente reduzindo para Ø 1800 mm. No trecho de recalque, as 4 tubulações de Ø 2400 mm juntam-se a um conduto de recalque de Ø 4500 mm. A imagem e localização do sistema avaliado são demonstradas na figura 1. E os dos conjuntos moto bombas da ESI na figuras 2

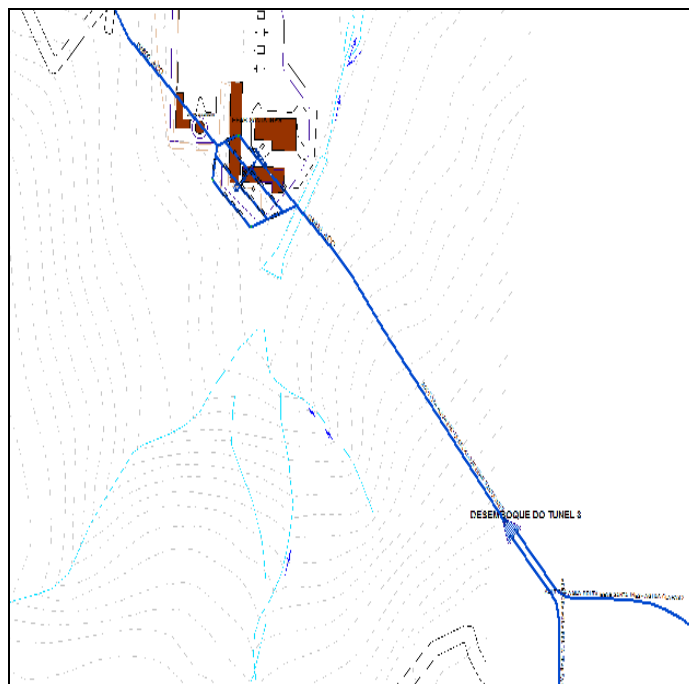


Figura 1 – imagem da estação elevatória de Santa Inês - fonte: Signos

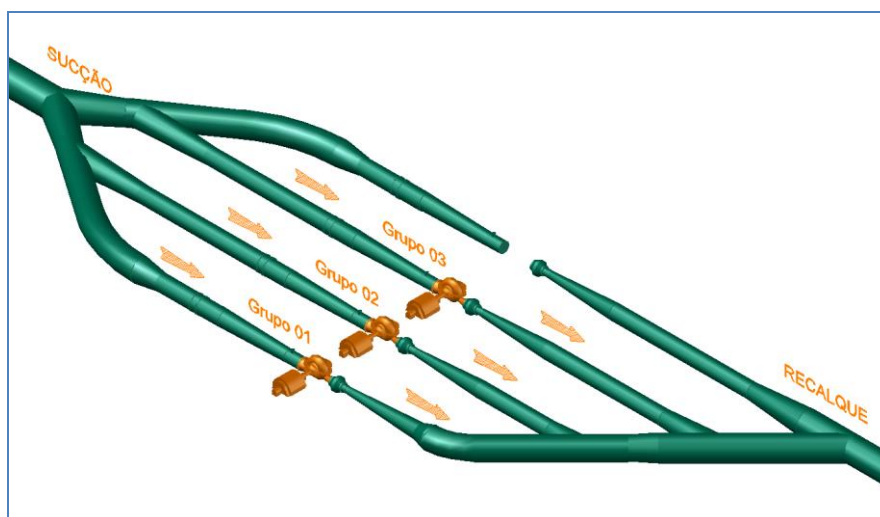


Figura 2 – detalhe estação elevatória de Água Bruta de Santa Inês – cadastro da MAGG

3. METODOLOGIA

Para a determinação da vazão, utilizou-se a princípio um medidor ultrassônico do tipo “clamp no”, modelo FUP1010 – Siemens que tem como base o princípio de tempo de trânsito. Adicionalmente, foram realizadas medições simultâneas de pressão de sucção e de recalque da mesma bomba. Nas medições de pressão utilizou-se transdutores de pressão relativa. A coleta dos dados foi realizada por meio de coletores de dados, com grande capacidade de armazenamento (dataloggers). Na figura 3 temos indicados os locais onde foram efetuadas as medições.

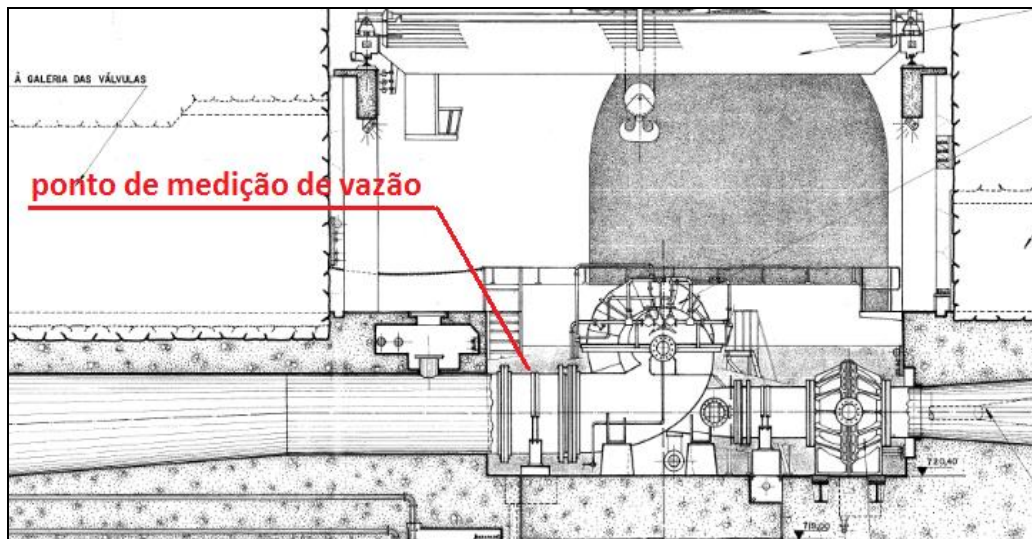


Figura 3 – detalhe do ponto de medição de vazão no grupo n.º 01 – fonte VisualSAM

Para o cálculo das vazões utilizou-se como referência a Norma Técnica Sabesp NTS 280 – Calibração de Macromedidores em campo de 2008. Esta norma recomenda a aplicação do método de mapeamento com tubo de Pitot baseado numa distribuição de velocidade tipo log-linear. A partir desta distribuição, obtêm-se o Fator de Velocidade (Fv). Obtendo-se este fator, a medição da vazão escoada na tubulação é feita através da medição da Velocidade Central (Vc). Desta forma, é possível calcular vazão através das equações 1 e 2:

$$V_c = (4,43473 \times C_d) \times \left(\frac{\Delta \text{pressão}}{1000} \right)^{0,5}$$

(1)

$$Q = \text{Área} \times F_v \times V_c$$

(2)

Onde:

Vc = velocidade ponto central da tubulação (m/s);

Cd = coeficiente de descarga do tubo de Pitot obtido mediante calibração em túnel de vento;

Δpressão = diferencial de pressão (mmH2O);

Fv = fator de velocidade;

Área = área da tubulação no ponto de medição (m2);

Q = vazão (m3/s)

O presente relatório apresenta a área da seção transversal média da tubulação e os valores dos FV (fator de velocidade) utilizados para cálculo da vazão no item 9. ANEXOS.

A metodologia de calibração baseou-se na Norma Técnica Sabesp NTS 280 – Calibração de Medidores em Campo – Junho de 2008. A calibração foi executada com vazão aproximada de 11.000 L/s. Esta corresponde à vazão de operação nominal do grupo G3.

4. INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Medidor ultrassônico de vazão Siemens Sitrans F, modelo FUP 1010 n.º de série U22510;
Transdutor Smar, n.º de série 189372, conectado ao datalogger DL 05 e,
Transdutor Smar, n.º de série 132003, conectado ao datalogger DL 09.

5. DADOS TÉCNICOS DO CONJUNTO MOTOBOMBA N.º 01, 02 e 03.

Os dados técnicos dados técnicos dos conjuntos moto bombas n.º 01 02 e 03 estão mostrados na tabela 1:

BOMBA	
Fabricante:	HITACHI
Modelo:	DTS CH
Vazão:	11,0 m ³ /s
Altura manométrica:	119,6 mca
Diâmetro do rotor:	1.438 mm
Rotação:	720
N.º de série:	
BP:	
MOTOR	
Fabricante:	mitsubishi
Modelo:	---
Potência:	20.000 HP
Tensão:	13200 V
Corrente nominal:	---
Rotação:	720
Fator de Serviço:	1
N.º de série:	
BP:	
Ano de Fabricação:	1970

tabela 01 – dados dos conjuntos moto bomba 01 02 e 03 – fonte ESI

6. RESULTADOS DO ENSAIO

O ponto de trabalho do conjunto moto bomba n.º 01 é apresentado no gráfico 1, 2 e 3:

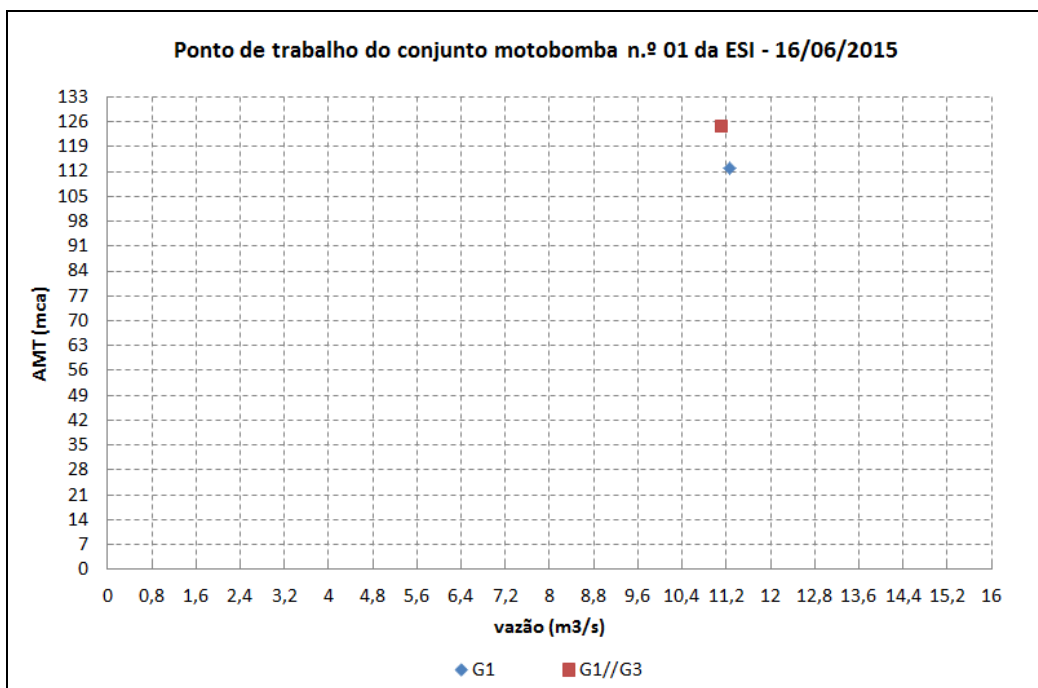


gráfico 1 – ponto de trabalho do conjunto moto bomba n.º 01 da ESI

O monitoramento da vazão do conjunto moto bomba n.º 01 é apresentado no gráfico 2:

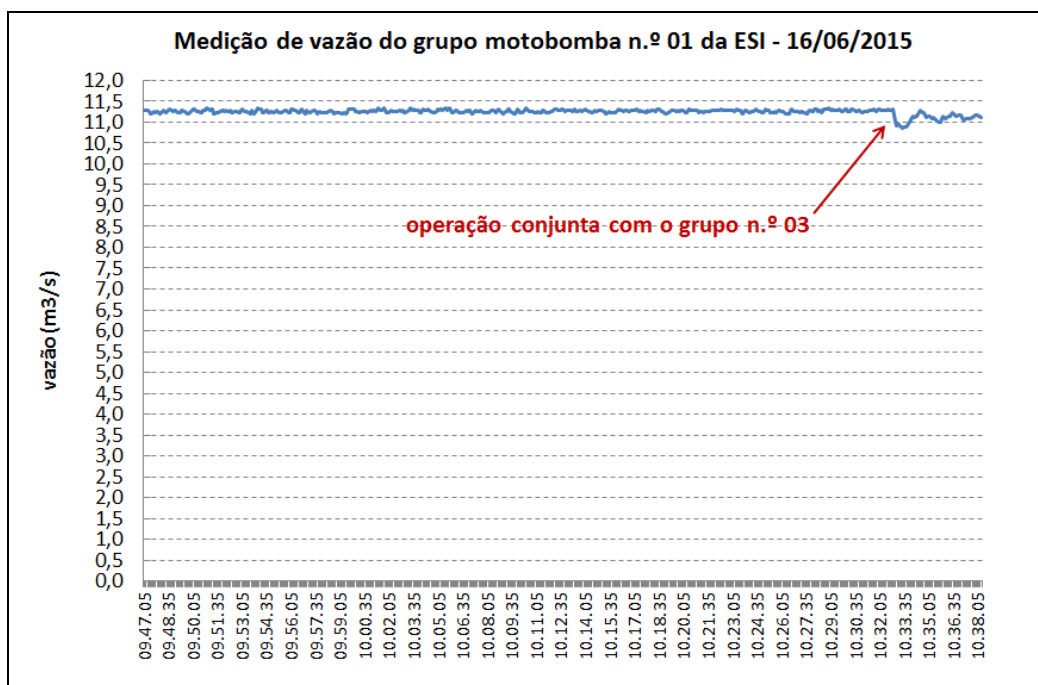


gráfico 2 – monitoramento da vazão do conjunto moto bomba n.º 01 da ESI

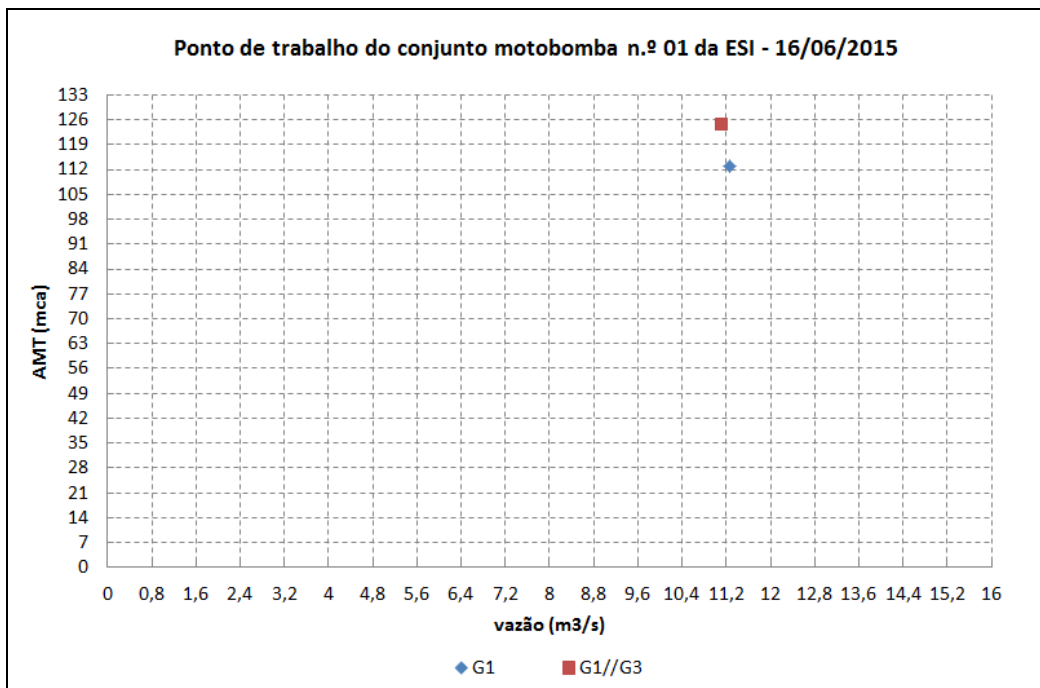


gráfico 3 – monitoramento da vazão do conjunto moto bomba n.º 01 da ESI

Nos gráficos 4 e 5, observamos a vazão do ponto de trabalho dos conjuntos moto bombas n.º01, 02 e 03 trabalhando isoladamente e as diversas associações entre eles.

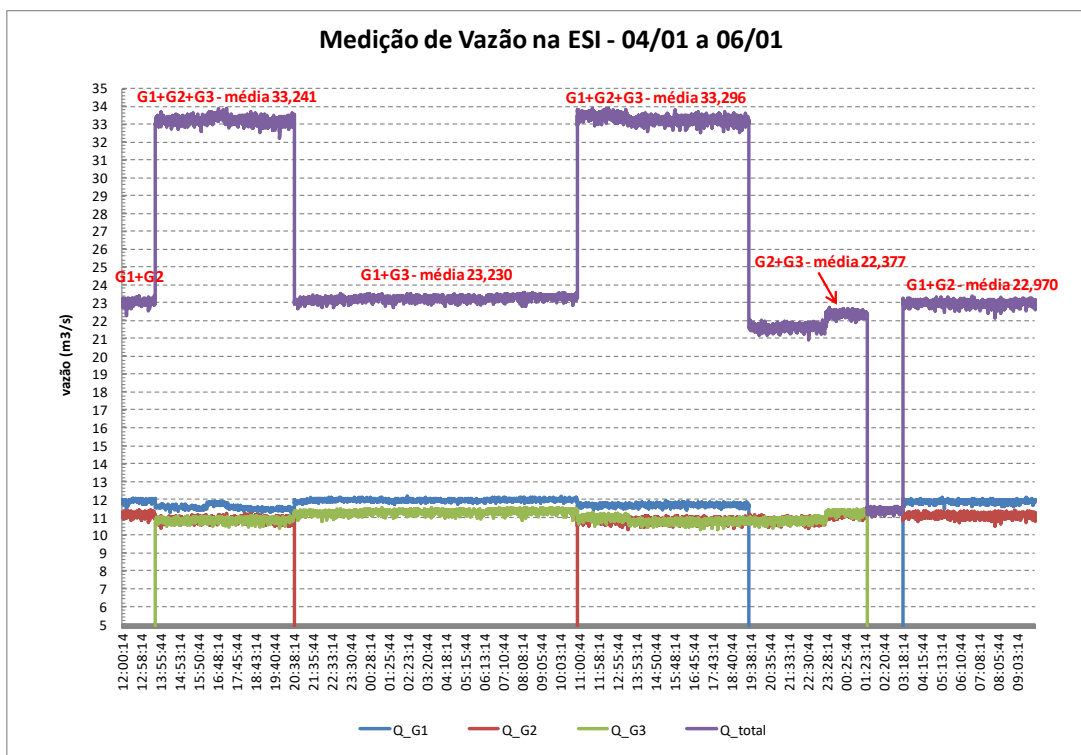


gráfico 4 – monitoramento da vazão dos conjuntos moto bombas n.º 01 02 e 03 da ESI

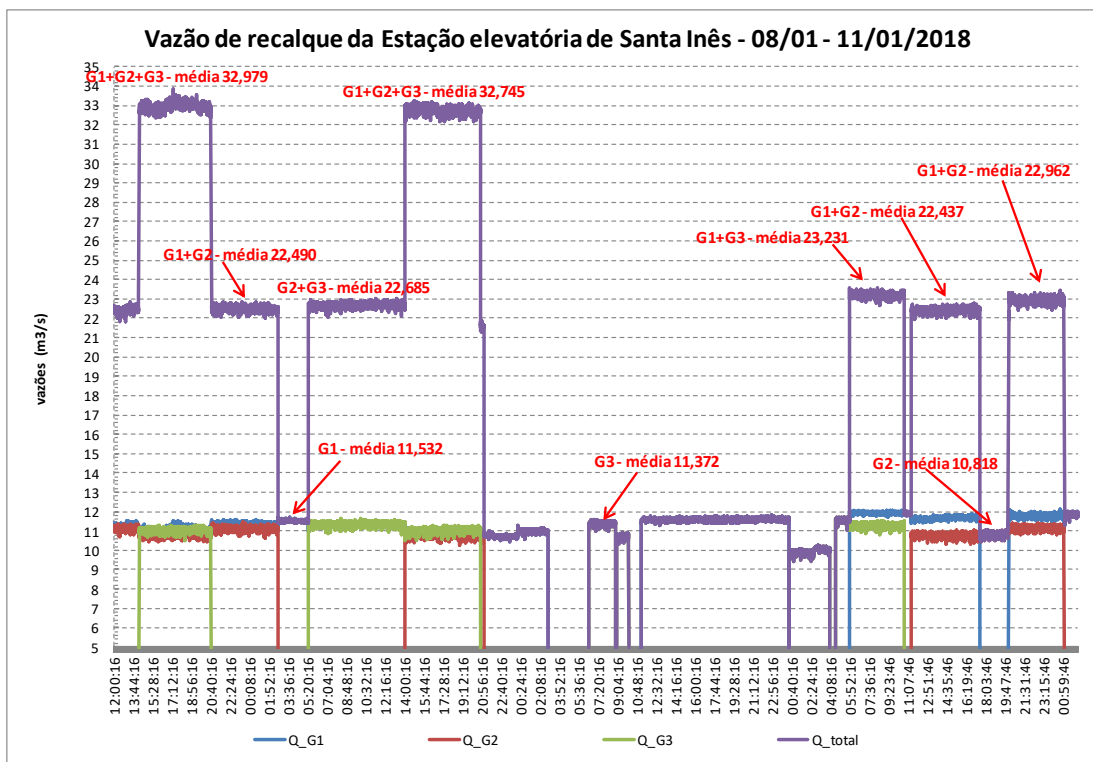


gráfico 5 – monitoramento da vazão dos conjuntos moto bombas n.º 01 02 e 03 da ESI

7. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados nos anexo traverse 2, 3 e 4, indicam que é possível efetuarmos a medição da vazão dos grupos G1, G2 e G3 da Estação Elevatória de Santa Inês, respectivamente com razoável confiabilidade para fornecermos parâmetros atuais para a operação, haja vista que não existe medidor de vazão na saída da estação elevatória e em função disso a operação tem trabalhado com valores teóricos nominais desde o início da operação da estação.

8. RECOMENDAÇÕES FINAIS

Para verificar pequena variação entre as vazões recalçadas pelas bombas durante a campanha de medição, sugere-se um monitoramento nas correntes dos motores elétricos ou o monitoramento da variação no nível do canal de sucção de água bruta da estação elevatória.

9. EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL

Adauto Luiz de Souza da Silva
Técnico em Sistemas de Saneamento

Adelmo de Souza Araújo
Técnico em Sistemas de Saneamento

André Luiz do Santos
Técnico em Sistemas de Saneamento
Instrumentista responsável pelos equipamentos

Olavo A. P. Sachs
Engenheiro

Adauto Luiz de Souza da Silva
Encarregado

Viviana Marli N. de Aquino Borges
Gerente de Divisão

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- NBR ISO 5167-1 – Medição de Vazão em Condutos Forçados Usando Medidores de Pressão Diferencial;
- NBR ISO 9104 – Medição de Vazão de Fluidos em Condutos Forçados – Métodos para Avaliação de Desempenho de Medidores de Vazão Eletromagnéticos para Líquidos;
- NBR ISO 6817 – Medição de Vazão de Líquido Condutivo em Condutos Forçados – Método Utilizando Medidores de Vazão Eletromagnéticos;
- NBR ISO 3966:2008 – Measurement of Fluid in Closed Conduits – Velocity Area Method Using Pitot Static Tube;
- Norma Técnica Sabesp NTS 280 – Calibração de medidores em Campo;
- Norma Técnica Sabesp NTS 227 – Registro metálico para colar de tomada ou cavalete em ramais prediais de água;
- Procedimento Sabesp PO AG 1081 - Fluxograma operacional para seleção de vazões de calibração;
- Procedimento Sabesp PO AG 1082 – Condução da Calibração.

11. ANEXOS



Foto 01 – estação elevatória de Santa Inês – visão geral



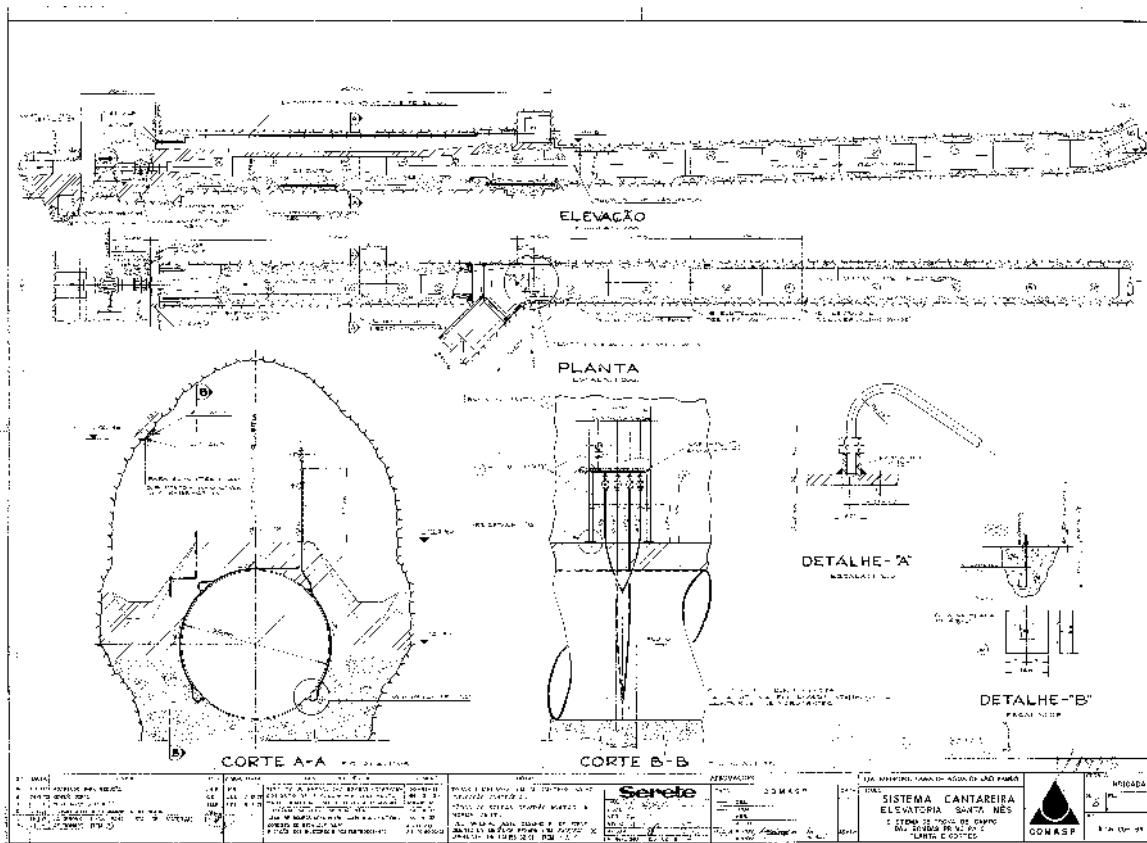
foto 02 – grupo moto bomba n.º 01



Foto 03 – medidor de vazão instalado no grupo moto bomba n.º 01



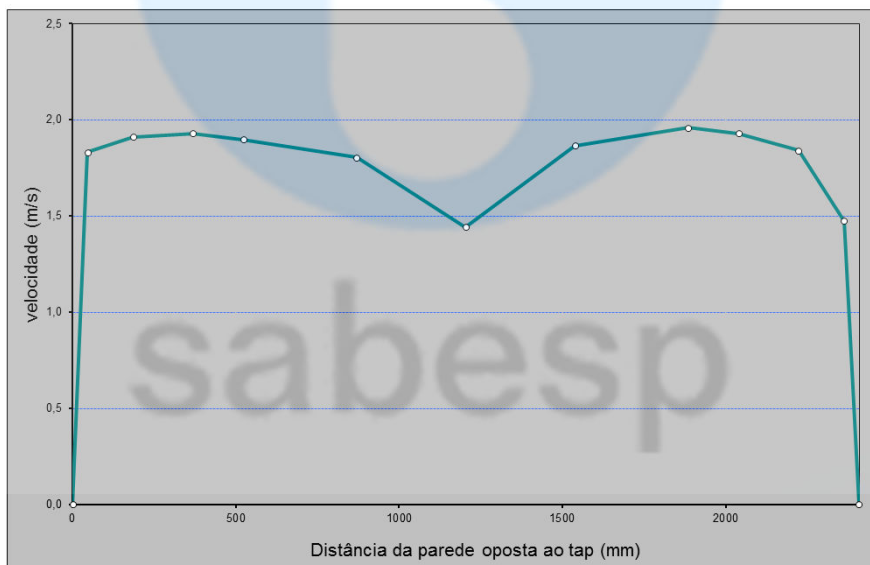
foto 04 – transdutor de pressão instalado na sucção do grupo moto bomba n.º 01



Planta original do sistema de solução salina utilizado na medição de vazão da ESI 01

Trabalho :	Calibração de Macromedidor	Diâmetro da adutora	Área da seção :	4,55032 m ²	
Local de medição:	G3 ESI	Nominal :	2400 mm		
Data da medição :	17/08/2017	Interno :	2407 mm	Diâmetro do tip:	4,35 mm
Executante(s) :	ANDRÉ				

Traverse Vertical						
	posição (y/D)	distância corrigida (mm)	distância da parede inferior (y) (mm)	velocidade (m/s)	velocidade corrigida (m/s)	velocidade corrigida Pitot (m/s)
0	1	2403	2407	0,00	0,00	0,00
1	0,981	2357	2361	1,47	1,47	1,47
2	0,923	2217	2222	1,84	1,84	1,84
3	0,847	2034	2039	1,93	1,93	1,93
4	0,783	1880	1885	1,97	1,97	1,96
5	0,639	1534	1538	1,88	1,87	1,87
6	0,500	1199	1204	1,46	1,45	1,44
7	0,361	865	869	1,83	1,82	1,81
8	0,217	518	522	1,92	1,91	1,90
9	0,153	364	368	1,95	1,94	1,93
10	0,077	181	185	1,93	1,93	1,91
11	0,019	41	46	1,86	1,85	1,83
12	0,000	-4	0	0,00	0,00	0,00



Vazão medida			Fator K (m ³ /s/mH ² O ^{1/2})		
Valor m ³ /s	Incerteza exp.		Valor de K	Incerteza exp.	
	m ³ /s	%		m ³ /s	%
8,395	0,413	4,9	112,831	13,053	11,6

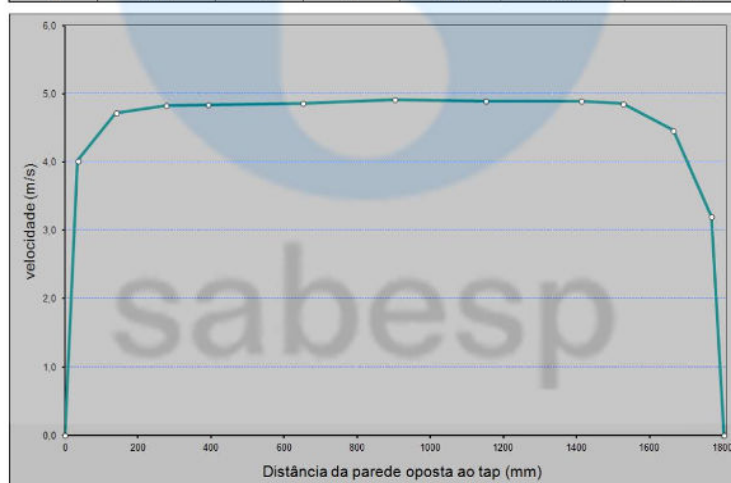
Avaliação do Perfil **Distorcido**

Velocidade (m/s)				
média vertical	central	FVV	FVV_1	FVV_2
1,84	1,44	1,278	1,257	1,300

Traverse 1- com distorção no perfil, devido à presença da válvula borboleta, próxima do ponto de medição prejudicou os dados obtidos no local, levando a uma incerteza elevada comprovada com a vazão apresentada não confiável.

Trabalho :	MEDIÇÃO DE VAZÃO	Diâmetro da adutora	Área da seção :	2,55318 m²
Local de medição:	ESI G1	Nominal :	1800 mm	
Data da medição :	04/01/2018	Interno :	1803 mm	Diâmetro do tip:
Executante(s) :	adauto			4,35 mm

Traverse Vertical						
	posição (y/D)	distância corrigida (mm)	distância da parede inferior (y) (mm)	velocidade (m/s)	velocidade corrigida (m/s)	velocidade corrigida Pitot (m/s)
0	1	1799	1803	0,00	0,00	0,00
1	0,981	1764	1769	3,20	3,20	3,20
2	0,923	1660	1664	4,47	4,47	4,46
3	0,847	1523	1527	4,88	4,87	4,86
4	0,783	1407	1412	4,92	4,92	4,90
5	0,639	1148	1152	4,93	4,92	4,89
6	0,500	897	902	4,97	4,95	4,91
7	0,361	647	651	4,92	4,90	4,86
8	0,217	387	391	4,91	4,88	4,84
9	0,153	272	276	4,90	4,87	4,83
10	0,077	134	139	4,79	4,76	4,72
11	0,019	30	34	4,08	4,05	4,02
12	0,000	-4	0	0,00	0,00	0,00



Vazão medida		
Valor m ³ /s	Incerteza exp.	
	m ³ /s	%
11,640	0,289	2,5

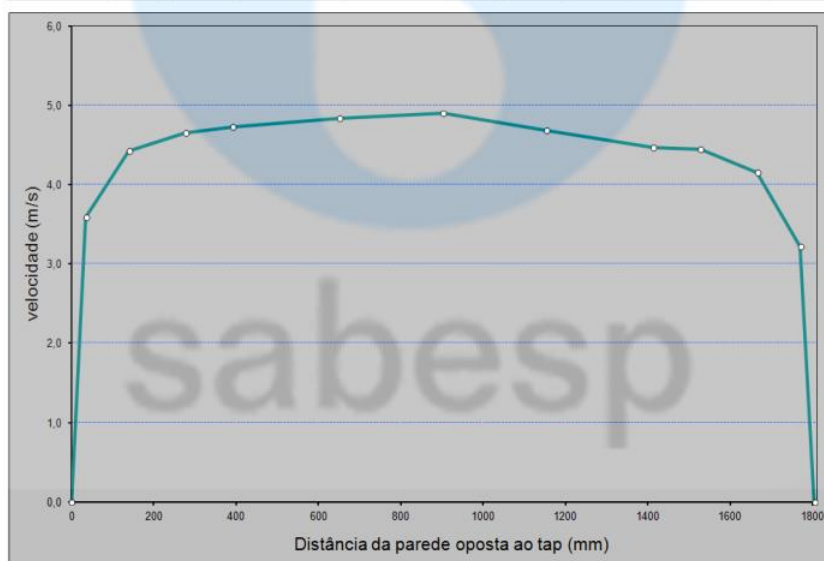
Avaliação do Perfil **Normal**

Velocidade (m/s)				
média vertical	central	FVV	FVV_1	FVV_2
4,56	4,91	0,928	0,908	0,948

Traverse 2- com perfil sem distorções, a qual de certa forma indica o bom grau de incerteza e com a vazão G1, obtida dentro do esperado.

Trabalho :	Calibração de Macromedidor	Diâmetro da adutora	Área da seção :	2,55601 m ²
Local de medição:	ESI G2	Nominal :	1800 mm	
Data da medição :	04/01/2018	Interno :	1804 mm	
Executante(s) :	adauto		Diâmetro do tip:	4,35 mm

Traverse Vertical						
	posição (y/D)	distância corrigida (mm)	distância da parede inferior (y) (mm)	velocidade (m/s)	velocidade corrigida (m/s)	velocidade corrigida Pitot (m/s)
0	1	1800	1804	0,00	0,00	0,00
1	0,981	1765	1770	3,23	3,23	3,23
2	0,923	1661	1665	4,17	4,16	4,16
3	0,847	1524	1528	4,46	4,46	4,44
4	0,783	1408	1413	4,50	4,49	4,47
5	0,639	1148	1153	4,72	4,71	4,68
6	0,500	898	902	4,96	4,94	4,90
7	0,361	647	651	4,90	4,88	4,84
8	0,217	387	391	4,80	4,78	4,73
9	0,153	272	276	4,73	4,70	4,66
10	0,077	135	139	4,49	4,46	4,42
11	0,019	30	34	3,65	3,62	3,59
12	0,000	-4	0	0,00	0,00	0,00



Vazão medida		
Valor m ³ /s	Incerteza exp.	
	m ³ /s	%
11,048	0,327	3,0

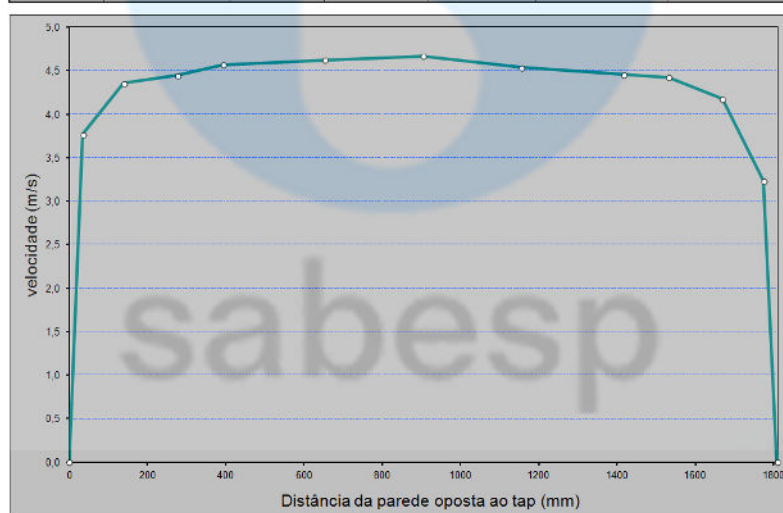
Avaliação do Perfil **Normal**

Velocidade (m/s)				
média vertical	central	FVV	FVV_1	FVV_2
4,32	4,90	0,882	0,857	0,908

Traverse 3 - com perfil sem distorções, a qual de certa forma indica o bom grau de incerteza e com a vazão G2, obtida dentro do esperado.

Trabalho :	MEDIÇÃO DE VAZÃO	Diâmetro da adutora	Área da seção :	2,56736 m²
Local de medição:	ESI G3	Nominal :	1800 mm	
Data da medição :	21/12/2017	Interno :	1808 mm	Diâmetro do tip: 4,35 mm
Executante(s) :	ANDRÉ			

Traverse Vertical						
	posição (y/D)	distância corrigida (mm)	distância da parede inferior (y) (mm)	velocidade (m/s)	velocidade corrigida (m/s)	velocidade corrigida Pitot (m/s)
0	1	1804	1808	0,00	0,00	0,00
1	0,981	1769	1774	3,23	3,23	3,23
2	0,923	1664	1669	4,19	4,18	4,18
3	0,847	1527	1531	4,44	4,44	4,42
4	0,783	1411	1416	4,48	4,47	4,46
5	0,639	1151	1155	4,58	4,57	4,54
6	0,500	900	904	4,72	4,70	4,67
7	0,361	648	653	4,69	4,67	4,62
8	0,217	388	392	4,64	4,61	4,57
9	0,153	272	277	4,51	4,49	4,44
10	0,077	135	139	4,42	4,40	4,35
11	0,019	30	34	3,83	3,80	3,77
12	0,000	-4	0	0,00	0,00	0,00



Vazão medida		
Valor m ³ /s	Incerteza exp.	
	m ³ /s	%
10,933	0,311	2,8

Avaliação do Perfil **Normal**

Velocidade (m/s)				
média vertical	central	FVV	FVV_1	FVV_2
4,26	4,67	0,913	0,893	0,933

Traverse 4 - com perfil sem distorções, a qual de certa forma indica o bom grau de incerteza e com a vazão G3, obtida dentro do esperado.