

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Laura Gonçalves da Rocha

**ANÁLISE DE DADOS DE TRANSIENTES OBTIDOS POR
INSTRUMENTAÇÃO EM SISTEMA DE RECALQUE DE
ÁGUA NA CIDADE DE PORTO ALEGRE**

Porto Alegre
Novembro, 2021

LAURA GONÇALVES DA ROCHA

**ANÁLISE DE DADOS DE TRANSIENTES OBTIDOS POR
INSTRUMENTAÇÃO EM SISTEMA DE RECALQUE DE
ÁGUA NA CIDADE DE PORTO ALEGRE**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Civil

**Orientadora: Profa. Daniela Guzzon
Sanagiotto**

Porto Alegre
Novembro, 2021

LAURA GONÇALVES DA ROCHA

**ANÁLISE DE DADOS DE TRANSIENTES OBTIDOS POR
INSTRUMENTAÇÃO EM SISTEMA DE RECALQUE DE
ÁGUA NA CIDADE DE PORTO ALEGRE**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRA CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pelo Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, novembro de 2021.

Prof.^a Dr.^a Daniela Guzzon Sanagiotto

Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS, Brasil
Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Luiz Alexandre Rezeres de Barros (DMAE)

Engenheiro civil pela PUCRS, Brasil

Prof. Dr. Juan Martin Bravo (UFRGS)

Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS, Brasil

Prof.^a Dr.^a Daniela Guzzon Sanagiotto (UFRGS)

Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS, Brasil

Dedico este trabalho à minha mãe por todo o apoio ao longo destes anos e ao meu pai pelo exemplo deixado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer à minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Daniela Guzzon Sanagiotto, por ter aceitado me orientar nesse trabalho de conclusão de curso, pela paciência e dedicação em sanar minhas dúvidas e preocupações.

À Deus por ter me dado forças nos momentos mais obscuros.

À minha família, principalmente a minha mãe Dilma da Costa Gonçalves, por estar me apoiando e incentivando em todos os momentos, sejam nos momentos de dificuldade ou de alegria; agradeço minha irmã Luísa Gonçalves da Rocha e sua família pelo apoio.

Ao meu amigo e colega Carlos Alberto Machado de Bastos pela ajuda e apoio durante o curso e principalmente nesta reta final, sem sua ajuda e incentivo não teria conseguido.

A todos os colegas de faculdade, minhas amigas que conheci durante a graduação, em especial a Isadora Goulart Castelli por todo o apoio durante esses anos e a Gabriella Rojas Barbosa pelos conselhos e ajuda durante esta jornada.

Também, aos colegas de DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgotos, aos meus chefes pelo apoio e suporte para que eu conseguisse estudar e trabalhar.

Aos professores da graduação, pelo empenho em passar seus conhecimentos, das diferentes áreas de estudos, principalmente durante a pandemia, que se mostrou tão desafiadora para todos.

Postumamente, agradeço ao meu pai Severino Azevedo da Rocha e minha avó Maria Honorina da Costa Gonçalves, que não conseguiram estar presentes neste momento, mas sei que de onde estiverem estão vibrando boas energias.

“O insucesso é apenas uma oportunidade para recomeçar com mais inteligência.”

Henry Ford

RESUMO

Os sistemas de abastecimento de água tratada são constituídos por uma série de elementos, como tubulações, reservatórios, estações elevatórias, entre outros. Para a adequada operação e controle destes sistemas é necessário que sejam instalados dispositivos para avaliar as grandezas hidráulicas, tais como velocidades, vazões e pressões. Estes sistemas de recalque possibilitam o transporte da água tratada de um ponto inferior para um superior, através de bombeamento. O trabalho apresenta a instrumentação utilizada em sistemas de recalque de água tratada, e analisa os dados obtidos. No desenvolvimento desta pesquisa foram instrumentadas três tubulações de recalque pertencentes a duas estações elevatórias da cidade de Porto Alegre. Em cada tubulação de recalque foram realizadas medições em dois pontos, sendo um em uma estação pitométrica, localizada fora das estações elevatórias, e outro próximo das bombas, junto aos manômetros. Na estação pitométrica se realizou a medição da pressão e da vazão bombeada, já na elevatória, apenas, pressão do recalque. Devido a existência de inúmeras formas de instrumentação, para o trabalho, se optou pela utilização de datalogger de pressão e de vazão, este, combinado com tubo pitot. O período de avaliação dos dados medidos é de 01 a 23 de agosto de 2021, sendo analisados diferentes períodos para cada tubulação de recalque. Durante este intervalo não foram observados comportamentos inesperados, como a ocorrência de transientes não programados. A partir da análise dos dados obtidos, foi possível observar que os transientes hidráulicos registrados ocorreram devido ao desligamento e acionamento de grupo motor/bomba. No momento de um desligamento ocorre o fechamento da válvula de retenção, que evita o fluxo contrário da água e com o um choque maior da coluna líquida na bomba. E como há o fechamento, acontece a subpressão no primeiro momento, com o primeiro choque, e logo em seguida a sobrepressão, devido a variação da velocidade de escoamento. As oscilações máximas de pressão foram de cerca de 147,8 mca, 80,6 mca e 89,6 mca em cada uma das tubulações de recalque instrumentadas. Ao comparar os valores instrumentados com a equação simplificada de Joukowski, se observa que os valores máximos medidos foram bem inferiores aos obtidos pela equação e os valores mínimos foram maiores que os calculados, já que os sistemas de recalque instrumentados contam pelo menos com válvula de retenção, que reduz as oscilações de pressão.

Palavras-chave: pressão, transientes, vazão, sobrepressão, subpressão, estação elevatória, estação pitométrica, datalogger

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vacuômetro WILLTEC.	24
Figura 2: Manômetro MTR instalado dentro da estação elevatória.....	25
Figura 3: Manômetro com tubo Bourdon SABI, escala de 0 -80 mca.	26
Figura 4: Exemplo de tubo pitot em uma seção de um tubo.	27
Figura 5: Índice de perdas não faturadas para o ano de 2018 da cidade de Porto Alegre.	28
Figura 6: Esquema vertical com o bombeamento a partir da EBAT Cascatinha.	31
Figura 7: Reservatório hidropneumático, vaso pressão, localizado na EBAT Cascatinha na tubulação de recalque para o reservatório Caieira.....	32
Figura 8: Croqui com o detalhamento das tubulações de recalque e sucção da EBAT Cascatinha (SUC – linha de sucção, CT - linha de recalque para o reservatório Catumbi, CAI – linha de recalque para o reservatório Caieira, TAP – estação pitométrica e VP – reservatório hidropneumático).	33
Figura 9: Croqui com o detalhamento da linha de recalque da EBAT Cascatinha para o Reservatório Catumbi (CT - linha de recalque para o reservatório Catumbi).	33
Figura 10: Arranjo geral dos grupos motor/bomba da EBAT Cascatinha.	34
Figura 11: Esquema vertical com o bombeamento a partir da EBAT Oscar Pereira.....	36
Figura 12: Croqui com o detalhamento das tubulações de recalque e sucção da EBAT Oscar Pereira (SUC – linha de sucção, PM - linha de recalque para o reservatório Primeiro de Maio, ASC – linha de recalque para o reservatório)	37
Figura 13: Foto da frente do datalogger utilizado.....	39
Figura 14: Foto de cima do datalogger utilizado.	39
Figura 15: Página inicial do site Zeus Web, que recebe os dados do datalogger via GSM.....	40
Figura 16: Exemplo de gráfico obtido diretamente no site Zeus Web.	40
Figura 17: Exemplos de como os dados são obtidos diretamente no site Zeus Web.....	41
Figura 18: Datalogger instalado no recalque da EBAT Cascatinha/RES Catumbi.....	41
Figura 19: Datalogger instalado no recalque da EBAT Cascatinha/RES Catumbi.....	42
Figura 20: Datalogger instalado no recalque da EBAT Cascatinha/RES Caieira.....	42
Figura 21: Datalogger instalado no recalque da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio.	43
Figura 22: Exemplo de datalogger instalado com tubo pitot.....	44

Figura 23: Croqui com o detalhamento da tubulação de recalque da EBAT Cascatinha para o Reservatório Catumbi, com a localização da EP (CT – linha de recalque da EBAT Cascatinha para o reservatório Catumbi e TAP – estação pitométrica).....	45
Figura 24: Croqui com o detalhamento da tubulação de recalque da EBAT Oscar Pereira para o Reservatório Primeiro de Maio, com a localização da EP (PM – linha de recalque da EBAT Oscar Pereira para o reservatório Primeiro de Maio e TAP – estação pitométrica).....	46
Figura 25: Gráfico comparativo das pressões nos dois pontos de coleta de dados da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio (P2) e na EP (P1) –18/08/2021.....	47
Figura 26: Gráfico da pressão em regime permanente e do transiente hidráulico D2 da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio –18/08/2021.....	48
Figura 27: Gráfico dos transientes hidráulicos da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio –18/08/2021.....	49
Figura 28: Gráfico dos grupos ligados (1) e desligados (0) da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio –18/08/2021.....	50
Figura 29: Gráfico da vazão e velocidade da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio – 18/08/2021.....	51
Figura 30: Gráfico comparativo das pressões nos dois pontos de coleta de dados da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio (P2) e na EP (P1) – 19/08/2021.....	52
Figura 31: Gráfico da pressão em regime permanente e do transiente hidráulico D1 da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio – 19/08/2021	52
Figura 32: Gráfico dos transientes hidráulicos da EBAT Oscar Pereira/ RES Primeiro de Maio – 19/08/2021.....	53
Figura 33: Gráfico dos grupos ligados (1) e desligados (0) da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio –19/08/2021.....	54
Figura 34: Gráfico da vazão e velocidade da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio – 19/08/2021.....	54
Figura 35: Gráfico comparativo das pressões nos dois pontos de coleta de dados da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio (P2) e na EP (P1) – 22/08/2021.....	55
Figura 36: Gráfico da pressão em regime permanente e do transiente hidráulico L1 da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio – 22/08/2021.....	56
Figura 37: Gráfico dos transientes hidráulicos da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio - 22/08/2021.....	57
Figura 38: Gráfico dos grupos ligados (1) e desligados (0) da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio – 22/08/2021.....	58
Figura 39: Gráfico da vazão e velocidade da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio – 22/08/2021.....	58

Figura 40: Gráfico do comparativo entre as pressões dentro da EBAT Cascatinha/RES Catumbi (P2) e na EP (P1) – 09/08/2021.....	62
Figura 41: Gráfico da pressão em regime permanente e do transiente hidráulico L5 da EBAT Cascatinha/RES Catumbi –09/08/2021.....	62
Figura 42: Gráfico dos transientes hidráulicos da EBAT Cascatinha/Catumbi – 09/08/2021..	63
Figura 43: Gráfico da vazão e velocidade da EBAT Cascatinha/RES Catumbi – 09/08/2021.....	64
Figura 44: Gráfico dos grupos ligados (1) e desligados (0) da EBAT Cascatinha/RES Catumbi – 09/08/2021.	64
Figura 45: Gráfico do comparativo entre as pressões dentro da EBAT Cascatinha/RES Catumbi (P2) e na EP (P1) – 12/08/2021.	66
Figura 46: Gráfico da pressão em regime permanente e do transiente hidráulico L3 da EBAT Cascatinha/Catumbi – 12/08/2021.....	67
Figura 47: Gráfico dos transientes hidráulicos da EBAT Cascatinha/RES Catumbi – 12/08/2021.	67
Figura 48: Gráfico da vazão e velocidade da EBAT Cascatinha/RES Catumbi – 12/08/2021.....	68
Figura 49: Gráfico dos grupos ligados (1) e desligados (0) da EBAT Cascatinha/RES Catumbi – 12/08/2021.	69
Figura 50: Gráfico do comparativo entre as pressões dentro da EBAT Cascatinha/RES Catumbi (P2) e na EP (P1) – 19/08/2021.....	70
Figura 51: Gráfico da pressão em regime permanente e do transiente hidráulico L1 da EBAT Cascatinha/RES Catumbi – 19/08/2021.....	71
Figura 52: Gráfico dos transientes hidráulicos da EBAT Cascatinha/RES Catumbi – 19/08/2021.....	71
Figura 53: Gráfico da vazão e velocidade da EBAT Cascatinha /RES Catumbi – 19/08/2021.....	72
Figura 54: Gráfico dos grupos ligados (1) e desligados (0) da EBAT Cascatinha/RES Catumbi – 19/08/2021.	73
Figura 55: Gráfico do comparativo entre as pressões dentro da EBAT Cascatinha/RES Caieira (P2) e na EP (P1) – 08/08/2021.....	75
Figura 56: Gráfico da pressão em regime permanente e do transiente hidráulico E1 da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 08/08/2021.....	76
Figura 57: Gráfico dos transientes hidráulicos na EP da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 08/08/2021.	76
Figura 58: Gráfico da vazão e velocidade da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 08/08/2021...77	

Figura 59: Gráfico dos grupos ligados (1) e desligados (0) da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 08/08/2021.....	77
Figura 60: Gráfico dos grupos ligados e desligados (A) da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 08/08/2021.....	78
Figura 61: Gráfico do comparativo entre as pressões dentro da EBAT Cascatinha/RES Caieira (P2) e na EP (P1) – 09/08/2021.....	79
Figura 62: Gráfico da pressão em regime permanente e do transiente hidráulico D1 da EBAT Cascatinha/RES Caieira –09/08/2021.....	79
Figura 63: Gráfico dos transientes hidráulicos da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 09/08/2021.....	80
Figura 64: Gráfico da vazão e velocidade da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 09/08/2021...81	
Figura 65: Gráfico dos grupos ligados (1) e desligados (0) da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 09/08/2021.....	81
Figura 66: Gráfico do comparativo entre as pressões dentro da EBAT Cascatinha/RES Caieira (P2) e na EP (P1) – 10/08/2021.....	83
Figura 67: Gráfico da pressão em regime permanente e do transiente hidráulico D1 da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 09/08/2021.....	83
Figura 68: Gráfico dos transientes hidráulicos da EBAT Cascatinha/RES Caieira –10/08/2021.	84
Figura 69: Gráfico dos grupos ligados (1) e desligados (0) da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 10/08/2021.....	85
Figura 70: Gráfico da vazão e velocidade da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 10/08/2021...85	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valor da constante k de acordo com o material do tubo.....	21
Tabela 2: Diâmetro interno (Di) e espessura da parede da tubulação (e) para tubo de aço carbono, valores em mm.....	31
Tabela 3: Diâmetro interno (Di) e espessura da parede da tubulação (e) para tubo ponta e bolsa, valores em mm.....	32
Tabela 4: Dados técnicos dos grupos motor/bomba da EBAT Cascatinha para RES Catumbi, nas posições 1 a 4.....	34
Tabela 5: Dados técnicos dos grupos motor/bomba, nas posições 5 à7, da EBAT Cascatinha para RES Caieira.....	35
Tabela 6: Dados técnicos dos grupos motor/bomba instalados, nas posições 4 a 6 da EBAT Oscar Pereira para Reservatório Primeiro de Maio.....	37
Tabela 7: Resumo das ocorrências dos transientes no dia 18/08/2021 – EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio.....	49
Tabela 8: Resumo das ocorrências dos transientes no dia 19/08/2021 – EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio.....	55
Tabela 9: Resumo das ocorrências dos transientes no dia 22/08/2021 – EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio.....	59
Tabela 10: Diâmetro interno (Di) e espessura da parede da tubulação (e) para tubo ponta e bolsa, valores em mm.....	59
Tabela 11: Resumo das ocorrências dos transientes no dia 09/08/2021 – EBAT Cascatinha/RES Catumbi.....	65
Tabela 12: Resumo das ocorrências dos transientes no dia 12/08/2021 – EBAT Cascatinha/RES Catumbi.....	68
Tabela 13: Resumo das ocorrências dos transientes no dia 19/08/2021 – EBAT Cascatinha/RES Catumbi.....	72
Tabela 14: Resumo das ocorrências dos transientes no dia 08/08/2021 – EBAT Cascatinha/RES Caieira.....	77
Tabela 15: Resumo das ocorrências dos transientes no dia 09/08/2021 – EBAT Cascatinha/RES Caieira.....	80
Tabela 16: Resumo das ocorrências dos transientes no dia 10/08/2021 – EBAT Cascatinha/RES Caieira.....	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgotos

TAP – Registro de derivação

EP – Estação Pitométrica

EBAT – Estação de Bombeamento de Água Tratada

RES – Reservatório

ETA – Estação de Tratamento de Água

FoFo – Ferro Fundido Nodular

FD – Ferro Fundido Dúctil

DN – Diâmetro Nominal

VRP – Válvula Redutora de Pressão

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

GSM - Groupe Special Mobile

VR – Válvula Retenção

MCA - Metro de Coluna de Água

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
1.1.	Objetivos do trabalho	17
1.1.1.	Objetivos geral	17
1.1.2.	Objetivos específicos	17
1.2.1.	Delimitação da Área de Estudo	17
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1.	Sistema de Abastecimento de Água	18
2.2.	Hidráulica Aplicada	19
2.2.1.	Escoamentos em sistemas de recalque	19
2.3.	Transientes Hidráulicos	20
2.3.1.	Métodos de Cálculos Simplificados	21
2.3.2.	Dispositivos de Proteção	23
2.3.3.	Instrumentação	23
2.3.4.	Vacuômetros	24
2.3.5.	Medidor e Controlador de Pressão	24
2.3.6.	Medidor e Controlador de Vazão	26
2.3.7.	Avaliação em Campo das Estações Elevatórias	27
3.	METODOLOGIA E MÉTODOS	29
3.1.	Descrição da Área de Estudo Seleccionada	29
3.2.	Descrição das Estações Elevatórias Estudadas	29
3.2.1.	EBAT Cascatinha	30
3.2.1.1.	Disposição dos Grupos Motor/Bomba da EBAT Cascatinha	34
3.2.2.	EBAT Oscar Pereira	35
3.2.2.1.	Disposição Grupos Motor/Bomba da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio	37
3.3.	Medidor de Pressão	38
3.3.1.	EBAT Cascatinha	41
3.3.2.	EBAT Oscar Pereira	43
3.4.	Medidor de vazão	43
3.4.1.	EBAT Cascatinha	44
3.4.2.	EBAT Oscar Pereira	46
4.	RESULTADOS	47
4.1.	EBAT Oscar Pereira e Res. Primeiro de Maio	47
4.2.	EBAT Cascatinha e Res. Catumbi	60

4.3. EBAT Cascatinha e Res. Caieira	75
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXO A - Mapa com Índice de Perdas Totais de 2018 da cidade de Porto Alegre	91
ANEXO B - Mapa com a localização das duas elevatórias e da EBAT Cascatinha na cidade de Porto Alegre	92
ANEXO C - Mapa com a Localização da EBAT Oscar Pereira na cidade de Porto Alegre	93
ANEXO D - Planta Mecânica da EBAT Cascatinha	94
ANEXO E - Planta Mecânica da EBAT Oscar Pereira	95
ANEXO F - Gráficos de Pressão EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio de 17/08 até 23/08/2021.	96
ANEXO G - Gráficos de Pressão EBAT Cascatinha/RES Catumbi de 08/08 até 19/08/2021.	99
ANEXO H - Gráficos de Pressão EBAT Cascatinha/RES Caieira de 07/08 até 16/08/2021.	105

1. INTRODUÇÃO

As cidades urbanizadas, sejam elas de quaisquer dimensões e características, vivem em constante mudanças, devido as necessidades da população. Por este motivo, os sistemas de gestão, que atuam nestas cidades, e seus respectivos dispositivos, como distribuição de água, tratamento de esgoto, distribuição de energia e tráfego urbano, devem acompanhar essas mudanças. No caso de sistemas de distribuição de água, essas mudanças alteram características operacionais dos sistemas, como por exemplo, as pressões atuantes nestes.

Na cidade de Porto Alegre, que possui desníveis geográficos consideráveis, um sistema de abastecimento de água eficiente é peça fundamental para o bom funcionamento do município. Segundo Tsutiya (2006), o abastecimento de água feito em qualidade e quantidade adequadas é uma das principais prioridades da população, pela sua importância no atendimento às necessidades básicas de saúde e no desenvolvimento industrial.

O Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE), é a empresa pública que fornece e gerencia o sistema de abastecimento de água da cidade de Porto Alegre. A água proveniente do manancial, o lago Guaíba, passa pelo processo de tratamento, nas estações de tratamento de água, depois segue pelas adutoras até as estações elevatórias que bombeiam, ou distribuem por gravidade, para os reservatórios ou diretamente para as redes distribuidoras. Depois de consumida, esta água retorna como esgoto cloacal, que é derivado pelas redes até as estações de bombeamento de esgoto, destas o esgoto segue para as estações de tratamento de esgoto, retornando para o lago Guaíba. Atualmente, o DMAE trata 56% do esgoto coletado no município.

Para se ter conhecimento da quantidade de água tratada que é bombeada, nas estações elevatórias, é necessário o controle e monitoramento da pressão e da vazão. A partir do conhecimento da área de abastecimento de determinada estação elevatória e de outras variáveis, é possível estimar o comportamento do sistema.

Dito isto, a instrumentação se mostra um método de controle operacional de extrema importância. A partir da utilização de dispositivos que façam a medição e o armazenamento destes dados, como por exemplo, os dataloggers, é possível analisar estes dados e obter o comportamento da estação elevatória em estudo.

Assim, este trabalho visa analisar os dados obtidos através da instrumentação, a partir da utilização de datalogger, em três tubulações de recalque de duas estações elevatórias na cidade de Porto Alegre, analisando a variação de pressão e seu impacto na tubulação.

1.1. Objetivos do trabalho

1.1.1. Objetivos geral

O objetivo geral deste trabalho é identificar o comportamento da variação da pressão através da instrumentação em estações elevatórias.

1.1.2 Objetivos específicos

Além do objetivo geral, este trabalho se propõe a atingir os seguintes objetivos específicos:

- Medir pressão em tubulação de recalque nas estações elevatórias;
- Medir pressão em um registro de derivação (TAP) na tubulação de recalque;
- Medir vazão em TAP na tubulação de recalque;
- Analisar os dados obtidos;
- Demonstrar com a instrumentação a variação da pressão e transientes hidráulicos, em caso de ocorrência.

1.2.1 Delimitação da Área de Estudo

Existem inúmeros métodos de instrumentação em sistemas de recalque, como por exemplo, transdutores de pressão, tubo pitot, manômetros, medidor de grandezas elétricas, medidores de nível de reservatório, entre outros. Para ter melhor aproveitamento do assunto este trabalho irá focar na análise dos dados obtidos através da instrumentação em sistema de recalque em bombeamento de água tratada, utilizando datalogger de pressão e vazão, este, em conjunto com tubo pitot.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Sistema de Abastecimento de Água

Neste subitem serão apresentadas as principais características e componentes de um sistema de abastecimento de água e seus princípios de funcionamento. Além disto, também serão apresentados os principais dispositivos utilizados na instrumentação nos sistemas elevatórios de água tratada.

O sistema de abastecimento de água se caracteriza, em sua maioria, pela captação e transporte da água bruta até a distribuição final da água tratada. São divididos em:

Manancial

Os mananciais são águas encontradas naturalmente confinadas que podem estar em locais superficiais ou subterrâneos, podem ser separados basicamente em com ou sem acumulação, lagos ou rios, respectivamente, aquíferos podem ser confinados ou não-confinados (HELLER; PÁDUA, 2006; REIS; CHEUNG, 2007).

Captação

Conjunto de estruturas e dispositivos destinados para a retirada de água do manancial com destino ao tratamento (TSUTIYA, 2006). Segundo Heller e Pádua (2006), a captação consiste na estrutura responsável pela extração de água do manancial.

Adução

Redes de água que se destinam a conduzir água entre as unidades, não havendo distribuição para consumo (TSUTIYA, 2006). Classifica-se de acordo com a água que transporta em “[...] adutora de água bruta ou de água tratada e, em função de suas características hidráulicas, pode ser em conduto livre, em conduto forçado por gravidade ou em recalque.” (HELLER; PÁDUA, 2006)

Tratamento

Unidades destinadas a tratar a água retirada dos mananciais, de modo a adequar suas características aos padrões de potabilidade (TSUTIYA, 2006). O tratamento completo é composto pelas seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração e cloração;

cada qual com sua função e tecnologias definidas para tal (HELLER; PÁDUA, 2006; REIS; CHEUNG, 2007).

Estação elevatória

Conjunto de dispositivos e equipamentos destinados a recalcar a água para a unidade seguinte, devido ao desnível geográfico. Geralmente, há várias estações elevatórias, bombeando tanto água bruta quanto tratada (TSUTIYA, 2006).

Reservatórios

Elemento do sistema de distribuição destinado para regularização das variações das vazões de adução e distribuição e propiciar a estabilização das pressões na rede de distribuição (TSUTIYA, 2006).

Redes de Distribuição

Componente do sistema de abastecimento formada por tubulações e dispositivos acessórios, destinados a distribuir a água tratada aos pontos de consumo (TSUTIYA, 2006).

2.2. Hidráulica Aplicada

2.2.1. Escoamentos em sistemas de recalque

Existem dois tipos de canalizações onde o fluido escoar:

- Conduto forçado;
- Conduto Livre;

Nos condutos forçados a pressão de dentro da tubulação é maior que a pressão atmosférica, em geral se utiliza a seção circular e o fluido ocupa toda a seção do tubo. Geralmente, utilizado em tubulações de recalques das estações elevatórias onde o bombeamento é feito por grupos motor/bomba ou por gravidade.

E no conduto livre, a pressão na superfície livre é igual à pressão atmosférica, a seção do tubo é aberta ou fechada, utilizada em galerias e canais artificiais.

A respeito da classificação do regime de escoamento em relação ao tempo:

- Permanente: onde as características do escoamento não variam no tempo;

- Não permanente: as características do escoamento variam no tempo;

E em relação ao espaço ele pode ser classificado em:

- Uniforme: as características do escoamento não variam no espaço;

$$\frac{\partial v}{\partial s} = 0 \quad (1)$$

- Variado: características do escoamento variam no espaço.

O escoamento em uma rede de recalque ocorre em conduto forçado predominantemente em regime permanente. Quando há uma interferência no bombeamento, como por exemplo: o desligamento de um grupo da estação elevatória, ocorre a mudança do regime permanente para o não permanente, onde a vazão não é constante e se caracterizam os transientes hidráulicos.

2.3. Transientes Hidráulicos

O golpe de aríete é a variação brusca de pressão, variando fora dos limites superior e inferior, devido a alterações no fluxo dentro da tubulação. Para Costa, Santos e Lança (2001), o golpe emite som de marteladas em metal, que são desagradáveis, podendo romper tubulações e danificar equipamentos.

Também, para Silvestre (1983), quando o movimento não for permanente, o que significa que a pressão e a vazão, em cada seção transversal, variam com o tempo, e o teorema de Bernoulli, não for mais aplicável, caracteriza comportamento de golpe de aríete.

O transiente hidráulico pode ocorrer devido à:

- Acionamento ou parada da bomba;
- Manobra de válvulas;
- Rompimento da tubulação,

2.3.1. Métodos de Cálculos Simplificados

Serão apresentados a seguir métodos simplificados para cálculo da sobrepressão/subpressão gerada pelo transiente hidráulico. Para isto é necessário conhecer alguns conceitos fundamentais para o entendimento do transiente hidráulico.

Celeridade

Que é a velocidade de propagação da onda, não depende das condições do escoamento, como pressão, velocidade, posição e tempo, calculada pela fórmula de Allievi.

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \cdot \frac{D}{e}}} \quad (2)$$

a = celeridade da onda, (m/s);

D = diâmetro interno da tubulação, (m);

e = espessura da parede da tubulação, (m);

k = coeficiente em função do módulo de elasticidade do material da tubulação, tabela 1 indica os valores correspondentes para cada material;

$$k = \frac{10^{10}}{E} \quad (3)$$

Tabela 1: Valor da constante k de acordo com o material do tubo.

Material	k
Aço	0,5
Ferro fundido	1,0
Concreto	5,0
Fibrocimento	4,4
Plástico	18,0

Período da tubulação

É o tempo que a onda de pressão leva para percorrer a tubulação e voltar ao seu ponto inicial.

$$\Gamma = \frac{2.L}{a} \quad (4)$$

Γ = período da tubulação;

L = comprimento da tubulação, (m);

a = celeridade da onda, (m/s);

Classificação do tempo de manobra (t)

Tempo de abertura e fechamento de válvulas, podendo comparar com o período (Γ) e classificar quanto a sua duração.

- Rápida:

$$t < \Gamma$$

- Lenta:

$$\Gamma < t < 500 . \Gamma$$

- Muito Lenta:

$$t > 500 . \Gamma$$

Equação Simplificada de Joukowsky

Para manobras rápidas se utiliza a equação simplificada de Joukowsky. Segundo Tsutiya (2006).

$$h_{max} = \frac{a . U_0}{g} \quad (5)$$

h_{max} = sobrepressão ou acréscimo de pressão, (mca);

U_0 = velocidade média da água, (m/s);

a = celeridade da onda, (m/s);

Equação Simplificada de Michaud

Já para manobras lentas, pode-se aplicar a fórmula simplificada de Michaud. Segundo Azevedo Netto (1998).

$$h_{max} = \frac{2 . L . U_0}{g . t} \quad (6)$$

h_{max} = sobrepressão ou acréscimo de pressão, (mca);

U_0 = velocidade média da água, (m/s);

L = comprimento da tubulação, (m);

g = aceleração da gravidade, (m/s²);

t = tempo de manobra, (s);

2.3.2. Dispositivos de Proteção

Para Macintyre (1997), não é possível eliminar totalmente os efeitos de um transiente hidráulico, podendo reduzir sua magnitude a limites aceitáveis. Para isto, podem-se utilizar:

- Utilizar tubulações de grande diâmetro, reduzindo a velocidade do escoamento;
- Fazer uso de válvulas de alívio de transientes hidráulicos, que limitem a sobrepressão e subpressão;
- Utilizar reservatórios hidropneumáticos que protegem contragolpes;
- Utilizar chaminés de equilíbrio em linhas de recalques longas, fazendo a separação dos trechos de grande e pequena declividade;
- Empregar válvulas de retenção com *by-pass*, manuais ou automáticas;
- Uso de válvulas de retenção com mola, ela fecha no momento de velocidade nula;
- Uso de volantes de grande inércia adaptados que reduzem o efeito da subpressão;

2.3.3. Instrumentação

Em estações elevatórias de água tratada as principais medições realizadas para se ter controle operacional e monitoramento do que é bombeado são as medições de vazão e de pressão. São utilizados, em sua maioria, vacuômetros (pressão abaixo da atmosférica), medidores e controladores de pressão e de vazão. Segundo a NBR 12214 (Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público) as estações elevatórias devem possuir os componentes acessórios do tipo: válvula de bloqueio, válvula de descarga, dispositivos de expulsão/admissão de ar, vacuômetros, medidores ou controladores de pressão e vazão, válvula de retenção, entre outros dispositivos.

Para fins deste trabalho, serão explicitados os dispositivos de interesse, como os vacuômetros, medidor e controlador de pressão e vazão.

2.3.4. Vacuômetros

Estes equipamentos devem ser instalados para monitoramento e controle da pressão abaixo da atmosférica. Estes dispositivos são instalados nas tubulações de sucção, onde ocorrem pressões negativas e/ou vácuo parcial. Na figura 1, é mostrado um exemplo de um vacuômetro.

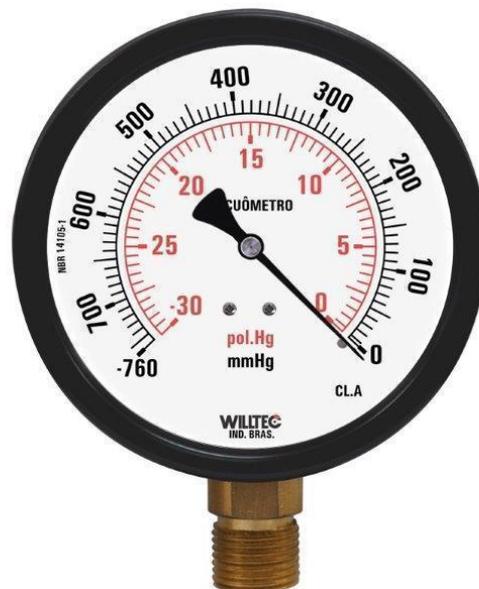


Figura 1: Vacuômetro WILLTEC. Fonte: WILLTEC.

2.3.5. Medidor e Controlador de Pressão

Os medidores e controladores de pressão devem ser instalados nas estações elevatórias, para monitoramento e controle operacional da pressão atuante em determinada tubulação do bombeamento, podendo ser na sucção e no recalque. Eles podem trabalhar com conferência *in loco* ou por telemetria. Para isto, são utilizados manômetros, transdutores e dataloggers de pressão, em sua maioria. Também, os dataloggers são utilizados para monitoramento de pressão em residências, quando se é necessário averiguar alguma reclamação de baixa pressão ou falta de água.

Os manômetros são utilizados para medir a pressão em determinado ponto da tubulação, sua escala de medição varia conforme a faixa de pressão atuante na rede. A pressão medida é acima da pressão atmosférica. Também, são utilizados em tubulação de recalque e sucção, normalmente dois pontos, e, também, a montante e a jusante de válvulas redutoras de pressão. Nas figuras 2 e 3, está exemplificado um manômetro utilizado. Este equipamento deve ser aferido periodicamente, conforme NBR 14105/2013.

Este dispositivo é de fácil leitura e instalação, mas possui vida útil limitada, conforme o uso e por sofrer variações de pressões bruscas, sua capacidade de ser aferido e manter a precisão vai diminuindo ao longo do tempo.



Figura 2: Manômetro MTR instalado dentro da estação elevatória. Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 3: Manômetro com tubo Bourdon SABI, escala de 0 -80 mca. Fonte: Elaborado pela autora.

2.3.6. Medidor e Controlador de Vazão

Devem ser instalados nas estações elevatórias, para monitoramento e controle operacional da vazão atuante em determinada linha de recalque do bombeamento. Com conferência *in loco* ou por telemetria. Para isto, são utilizados tubo pitot e dataloggers de vazão, em sua maioria.

A instalação de tubo pitot deve ser feita em estação pitométrica, por mão de obra qualificada, devido ao seu material poder sofrer deformações, se for mal manuseado. Com este equipamento se utiliza a técnica chamada pitometria, que mede a pressão, vazão e o diferencial da pressão de estagnação e a dinâmica. Na figura 4, está exemplificada como o tubo pitot fica depois de instalado.

Se este equipamento for instalado em conjunto com um datalogger, que já possui configuração prévia, os cálculos são feitos pelo aparelho, permitindo a leitura da vazão, velocidade, diferencial de pressão, volume e pressão.



Figura 4: Exemplo de tubo pitot em uma seção de um tubo. Fonte: Mecaltec.

2.3.7. Avaliação em Campo das Estações Elevatórias

As empresas que prestam serviço de saneamento fazem uso de dispositivos de medição de vazão, pressão e volume nas estações elevatórias. Com os dispositivos do tipo manômetro pode se ter o dado da pressão instantânea no ponto de instalação e do tipo datalogger pode ser medido pressão e/ou vazão, conforme configuração prévia. Estes são os mais usuais na operação. Com dados atualizados e precisos de pressão e vazão pode-se realizar estudos de perdas de água, se o abastecimento está sendo eficiente e, até mesmo, de eficiência energética, entre outras possibilidades.

Como por exemplo, no Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) da cidade de Porto Alegre, são realizadas medições nas tubulações de recalque, através das estações pitométricas utilizando tubo pitot em conjunto com datalogger de vazão, estas medições são chamadas de macromedições.

Através da macromedição, é feita a medição do volume de água bombeado ($m^3/mês$) por uma estação elevatória que abastece determinada área. Outro dado importante é a micromedição, que é volume, em $m^3/mês$, consumido por cada usuário cadastrado, ou seja, o

consumo faturado medido. Este dado é medido pelo setor comercial do DMAE que abastece um banco de dados em para consulta no *software* ARCGIS.

Com estes dados são calculadas as perdas não faturadas, fazendo-se a relação entre a macromedição e micromedição. Na figura 5, por exemplo, segue o índice de perdas não faturadas do ano de 2018, que foi de 38,18%, para a área de atendimento do DMAE.

No anexo A, está o mapa da cidade de Porto Alegre, contendo a delimitação dos subsistemas de água e seus respectivos índices de perdas do ano 2018.

NOMESUBSIS	SISTEMA	MACROMEDIÇÃO (m³/mês)	Consumo Faturado Medido (m³/mês)	Consumo Faturado Não Medido (m³/mês)	Consumo Autorizado Não Faturado (m³/mês)	Ref	Volume Perdido	PERDAS
EBAT RESTINGA I e RES RESTINGA	BELÉM NOVO	1193721,42	592416	60163,56	129638,15	ago/18	411503,71	34,47%
EBAT BOA VISTA e RES BOA VISTA	BELÉM NOVO	1014582,30	279905	51134,95	110183,64	ago/18	573358,71	56,51%
EBAT ILHA DA PINTADA e RES ILHA e RES ILHA DA PINT	ILHA DA PINTADA	64544,61	32483	3253,05	7009,54	jul/18	21799,02	33,77%
EBAT ILHAS (IN LINE)	ILHA DA PINTADA	77152,39	18061	3888,48	8378,75	jul/18	46824,16	60,69%
RES ETA MENINO DEUS (Gravidade)	MENINO DEUS	511934,92	334068	25801,52	55596,13	jul/18	96469,27	18,84%
EBAT STA TEREZA I e RES STA TEREZA II	MENINO DEUS	324962,20	91211	16378,09	35290,89	jul/18	182082,21	56,03%
EBAT FERNANDO MACHADO (IN LINE)	MENINO DEUS	220304,07	56967	11103,33	23925,02	jul/18	128308,72	58,24%
EBAT CASCATINHA e RES CATUMBI	MENINO DEUS	1702593,11	656155	85810,69	184901,61	jul/18	775725,80	45,56%
EBAT PADRE CACIQUE e RES MAL HERMES I	MENINO DEUS	500720,00	338109	25236,29	54378,19	jul/18	82996,52	16,58%
EBAT SAO MANOEL e RES SAO LUIZ I	MENINO DEUS	2335027,40	999108	117685,38	253583,98	jul/18	964650,04	41,31%
EBAT CASCATINHA e RES CAIEIRA II	MENINO DEUS	344587,30	232089	17367,20	37422,18	jul/18	57708,92	16,75%
EBAT 24 DE OUTUBRO e RES BORDINI	MOINHOS DE VENTO	1046338,92	639096	52735,48	113632,41	jul/18	240875,03	23,02%
RESERVATORIO MOSTARDEIRO e RES PALMEIRA	MOINHOS DE VENTO	2124385,08	990481	107069,01	230708,22	jul/18	796126,85	37,48%
RESERVATORIO SAO JOAO	SÃO JOÃO	1241174,75	584122	62555,21	134791,58	jul/18	499705,97	37,04%
EBAT LUZITANA e RES PEDREIRA	SÃO JOÃO	518400,00	192119	26127,36	56298,24	jul/18	243855,40	47,04%
EBAT IPIRANGA I e RES IPIRANGA II	SÃO JOÃO	536903,21	297629	27059,92	58307,69	jul/18	153906,60	28,67%
EBAT SARANDI e RES ARY TARRAGO	SÃO JOÃO	398933,90	183893	20106,27	43324,22	jul/18	151610,41	38,00%
EBAT OURO PRETO e RES COSTA E SILVA I e II	SÃO JOÃO	2370253,14	1071972	119460,76	257409,49	jul/18	921410,89	38,87%
EBAT OURO PRETO e RES JAU I	SÃO JOÃO	673920,00	326272	33965,57	73187,71	jul/18	240494,72	35,69%
RESERVATORIO ETA TRISTEZA	TRISTEZA	456043,23	225414	22984,58	49526,29	abr/18	158118,36	34,67%
EBAT VILA ASSUNCAO e RES COROADOS	TRISTEZA	31697,19	13987	1597,54	3442,32	abr/18	12670,34	39,97%
EBAT JARDIM ISABEL I e RES JARDIM ISABEL II	TRISTEZA	58092,23	13485	2927,85	6308,82	abr/18	35370,57	60,89%
EBAT BALNEARIOS ESPIRITO SANTO e RES PCA MOEMA I	TRISTEZA	145948,34	46456	7355,80	15849,99	abr/18	76286,56	52,27%
TOTAL		17.892.219,72					6.831.858,78	38,18%

Figura 5: Índice de perdas não faturadas para o ano de 2018 da cidade de Porto Alegre. Fonte: DMAE.

Para fins de controle operacional, são feitas as leituras das pressões dos manômetros pelo operador da estação elevatória. Este controle pode ocorrer por telemetria, onde é feito o controle da pressão através de sensores instalados junto aos manômetros. Na figura 2, mostra um sensor de pressão instalado junto ao manômetro. O controle do nível dos reservatórios também é fundamental, sendo que geralmente os reservatórios possuem controlador de nível, que determinam o ligar e/ou desligar de um grupo motor/bomba (GMB) de uma estação elevatória.

3. METODOLOGIA E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados: a área selecionada para o estudo neste trabalho, os equipamentos utilizados para as medições de pressão e vazão.

3.1. Descrição da Área de Estudo Selecionada

O presente trabalho visa analisar dados obtidos através da instrumentação no sistema de recalque em três bombeamentos que se originam de duas estações elevatórias, do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) na cidade de Porto Alegre. O DMAE é uma autarquia municipal criada no dia 15 de dezembro de 1961. O órgão é responsável por todo o serviço de saneamento na cidade de Porto Alegre.

O bombeamento de água na cidade de Porto Alegre é dividido em sistemas que são: Menino Deus, São João, Moinhos de Vento, Tristeza, Ilha da Pintada e Belém Novo. E estes sistemas são subdivididos em subsistemas que são denominados pelas estações elevatórias e seus respectivos reservatórios, estes, possuem níveis de bombeamento, conforme o desnível geográfico que não pode ser atendido por gravidade. As estações elevatórias analisadas neste trabalho fazem parte do sistema Menino Deus, subsistemas EBAT Cascatinha para o Reservatório Catumbi, EBAT Cascatinha para o Reservatório Caieira e EBAT Oscar Pereira para o Reservatório Primeiro de Maio.

3.2. Descrição das Estações Elevatórias Estudadas

Neste subitem, apresenta-se a descrição das estações elevatórias que são motivo de estudo ao longo deste trabalho. As estações elevatórias estão localizadas dentro da cidade de Porto Alegre. Nos Anexos B e C são apresentados os dados da localização das elevatórias e suas respectivas estações pitométricas.

As medições devem ser feitas em cada tubulação de recalque de cada estação elevatória, de cada bombeamento. Nas tubulações de recalque, onde existem estações pitométricas em caixas subterrâneas, estão instalados tubos pitot com datalogger de vazão para ser feita a macromedição.

3.2.1. EBAT Cascatinha

A EBAT Cascatinha está localizada na Av. Oswaldo Rolla, nº 31. Esta estação elevatória, está situada dentro do sistema Menino Deus, recebe a água proveniente do reservatório da ETA Menino Deus, por gravidade, na figura 8 identificamos a tubulação de sucção de DN 1000 de aço, com seta vermelha. A ETA Menino Deus está localizada na Av. Barão do Guaíba, nº 781.

A estação elevatória Cascatinha possui duas tubulações de recalque, uma para o reservatório Caieira, na figura 8, onde o diâmetro da tubulação é DN 500 e material ferro fundido (FoFo), seta verde, e a outra para o reservatório Catumbi, que possui DN 900 e material aço, identificado na figura 8 e 9, com seta azul. A tubulação de recalque para o reservatório Catumbi, também possui ligação com uma válvula redutora de pressão (VRP Beco Badico) e a EBAT Oscar Pereira.

Já a tubulação de recalque para o reservatório Caieira, abastece outros dois reservatórios, o reservatório Natal e Delfino Riet. Ambos os sistemas de recalques da estação elevatória serão objetos de estudos neste trabalho.

Na figura 6, é possível identificar o esquema vertical, onde o bombeamento, a partir da EBAT Cascatinha, fica visível. A linha em vermelho representa o que é distribuído por gravidade a partir da ETA, o que está em verde é considerado o primeiro bombeamento e em amarelo segundo, o círculo azul indica a estação elevatória e as duas tubulações de recalque em estudo.

O bombeamento em amarelo, na figura 6, que são os das EBAT's Catumbi e Caieira, não serão estudados neste trabalho, apenas o que está em verde.

Na EBAT Cascatinha para o reservatório Catumbi, se realizou a instrumentação no período de 08/08/2021 até 19/08/2021, foram instalados dataloggers de pressão junto aos manômetros e de vazão nas estações pitométricas das duas tubulações de recalque, no mesmo período.

Para o bombeamento da EBAT Cascatinha/RES Catumbi, os dados conhecidos da tubulação de recalque são o DN 900 e o material de aço. Baseado nas informações do fabricante Brastubos, obtemos os seguintes parâmetros, tabela 2:

Para o parâmetro k (equação 3) se utilizou o valor de 0,5, conforme tabela 2, por se tratar de uma tubulação de aço.

Tabela 2: Diâmetro interno (D_i) e espessura da parede da tubulação (e) para tubo de aço carbono, valores em mm. Fonte: Brastubos.

DN	900
D_i	895,36
e	9,52

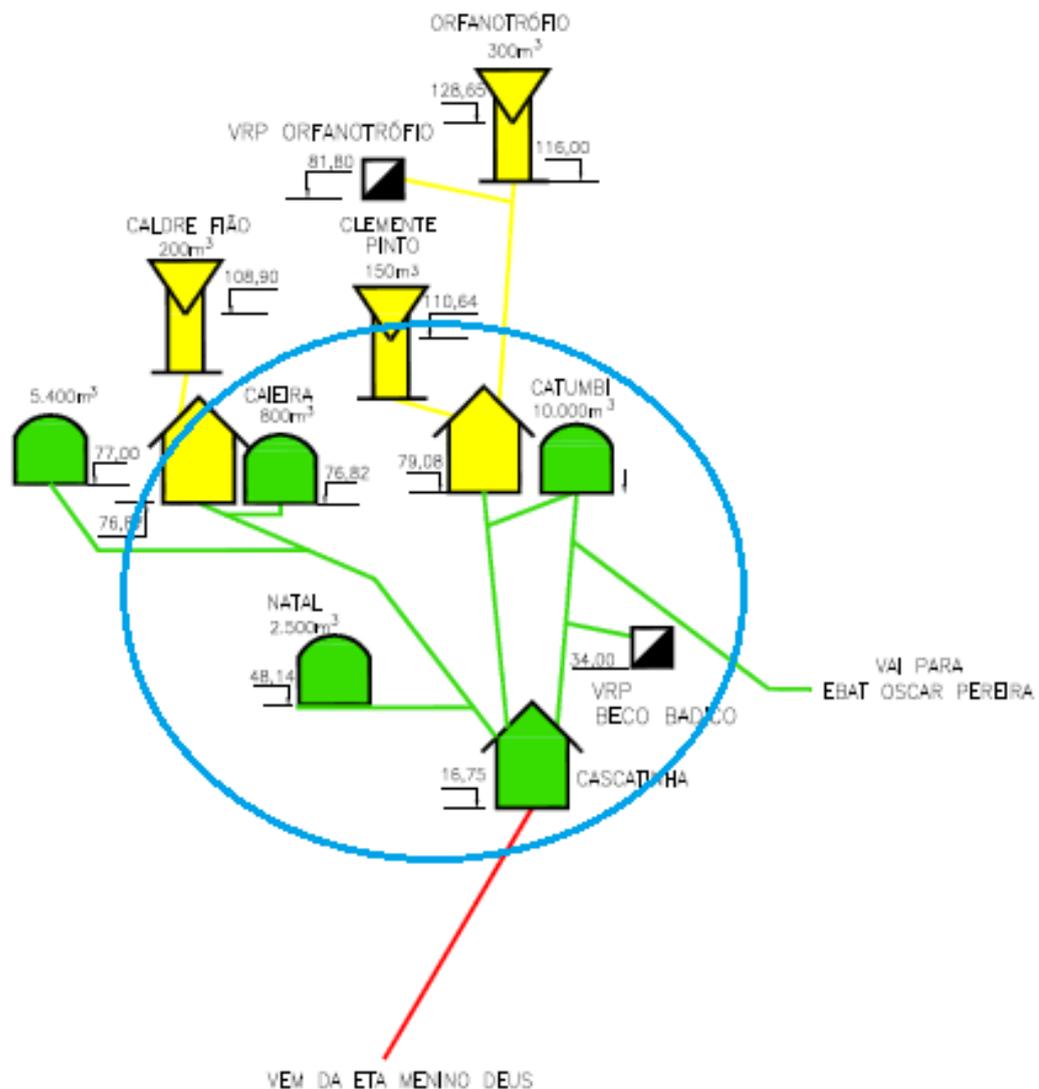


Figura 6: Esquema vertical com o bombeamento a partir da EBAT Cascatinha, o círculo azul indica a estação elevatória e as duas tubulações de recalque em estudo. Fonte: DMAE.

Na EBAT Cascatinha para RES Caieira se realizou a instrumentação no período de 07/08/2021 até 16/08/2021, foram instalados dataloggers de pressão junto aos manômetros e de vazão nas estações pitométricas das duas tubulações de recalque, de igual período.

Para o bombeamento da EBAT Cascatinha para RES Caieira, os dados conhecidos da tubulação de recalque são o DN 500 e o material de ferro fundido. Baseado nas informações do fabricante Saint-Gobain, considerando o tipo do tubo como ponta e bolsa, por ser o usual do DMAE, obtemos os seguintes parâmetros conforme tabela 3.

Para o parâmetro k (equação 3) se utilizou o valor de 1,0, conforme tabela 1, por se tratar de uma tubulação de ferro fundido.

Tabela 3: Diâmetro interno (D_i) e espessura da parede da tubulação (e) para tubo ponta e bolsa, valores em mm.
Fonte: Saint-Gobain.

Classe	k7	k9
D_i	535	
e	7	9

No recalque da EBAT Cascatinha para o reservatório Caieira, existe um reservatório hidropneumático, figura 7, denominado vaso de pressão, que não estava em operação, devido a manutenção, quando da realização do presente trabalho.



Figura 7: Reservatório hidropneumático, vaso pressão, localizado na EBAT Cascatinha na tubulação de recalque para o reservatório Caieira. Fonte: Elaborada pela autora.

3.2.1.1. Disposição dos Grupos Motor/Bomba da EBAT Cascatinha

A estação elevatória Cascatinha possui sete grupos motor bomba, sendo quatro para a linha de recalque do reservatório Catumbi e três para o reservatório Caieira.

As tabelas 4 e 5 apresentam as principais características das elevatórias Cascatinha para o reservatório Catumbi e Cascatinha para o reservatório Caieira, respectivamente. Cabe salientar que os grupos não operam ao mesmo tempo em sua totalidade, varia conforme a demanda e nível dos reservatórios. Na figura 10, se visualiza o arranjo geral da disposição dos grupos dentro da elevatória. No anexo D, se observa a planta mecânica da EBAT Cascatinha, com as disposições dos grupos e das válvulas.



Figura 10: Arranjo geral dos grupos motor/bomba da EBAT Cascatinha. Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 4: Dados técnicos dos grupos motor/bomba da EBAT Cascatinha para RES Catumbi, nas posições 1 a 4. Fonte: DMAE.

GRUPOS 1 – 4			
	BOMBA		MOTOR
MARCA	Mark	MARCA	WEG
MODELO	10 AE 16	MODELO	4P 355ML
TIPO	Centrífuga	POTÊNCIA	350
VAZÃO (l/s)	359	FATOR DE SERVIÇO	1,15
ALTURA (mca)	52,2	Ip/In	7,3
RPM	1775	RPM	1790
DIST. BASE/CENTRO	525	DIST. BASE/CENTRO EIXO	355

EIXO			
DIÂMETRO SUCCÃO	300	DIAM. EIXO	100
DIÂMETRO RECALQUE	250	TENSÃO (V)	380/660
RENDIMENTO (%)	84	CORRENTE (A)	473/272
DIÂMETRO ROTOR	370	CARGA REND – 100 %	96
		CARGA FP – 100 %	0,7
		PROTEÇÃO	IP 55

Tabela 5: Dados técnicos dos grupos motores bomba, nas posições 5 à 7, da EBAT Cascatinha para RES Caieira. Fonte: DMAE.

GRUPOS 5 – 7			
BOMBA		MOTOR	
MARCA	Mark	MARCA	WEG
MODELO	8 AE 20G	MODELO	280 SM
TIPO	Centrífuga	POTÊNCIA	125
VAZÃO (l/s)	133	FATOR DE SERVIÇO	1,15
ALTURA (mca)	50,7	Ip/In	6
RPM	1160	RPM	1185
DIST. BASE/CENTRO EIXO	457	DIST. BASE/CENTRO EIXO	280
DIÂMETRO SUCCÃO	200	DIAM. EIXO	75
DIÂMETRO RECALQUE	200	TENSÃO (V)	380/660
RENDIMENTO (%)	82	CORRENTE (A)	173/99,3
DIÂMETRO ROTOR	500	CARGA REND – 100 %	94,5
		CARGA FP – 100 %	0,84
		PROTEÇÃO	IP 55

3.2.2. EBAT Oscar Pereira

A estação elevatória supracitada está localizada na Av. Oscar Pereira, nº 3495. Na EBAT Oscar Pereira a sua sucção é proveniente do recalque EBAT Cascatinha/Res Catumbi, a linha de sucção, DN 400 de material PEAD, figura 11, seta em vermelho. Esta, também, pertence ao sistema Menino Deus. No anexo E, se observa a planta mecânica da EBAT Cascatinha, com as disposições dos grupos e das válvulas.

A EBAT Oscar Pereira possui, também, duas tubulações de recalque, uma para o reservatório Primeiro de Maio, seta azul, e a outra para o reservatório Ascensão, seta verde na figura 12. O recalque para o reservatório Primeiro de Maio, tem diâmetro DN 300 de ferro

fundido, este, tem ligação, também, com outro reservatório chamado Oscar Pereira, uma válvula redutora de pressão (VRP Irmãs Paulina) e uma bomba *booster* denominada Graciliano Ramos. Já o recalque para a Ascensão tem DN 300 de material aço.

No esquema vertical, representado na figura 11, o que está em verde é a sucção da EBAT Oscar Pereira e em amarelo as duas tubulações de recalque, segundo bombeamento, apenas a linha representada pela seta vermelha será objeto de estudo neste trabalho. O que está em azul, terceiro bombeamento, não será abordado neste trabalho.

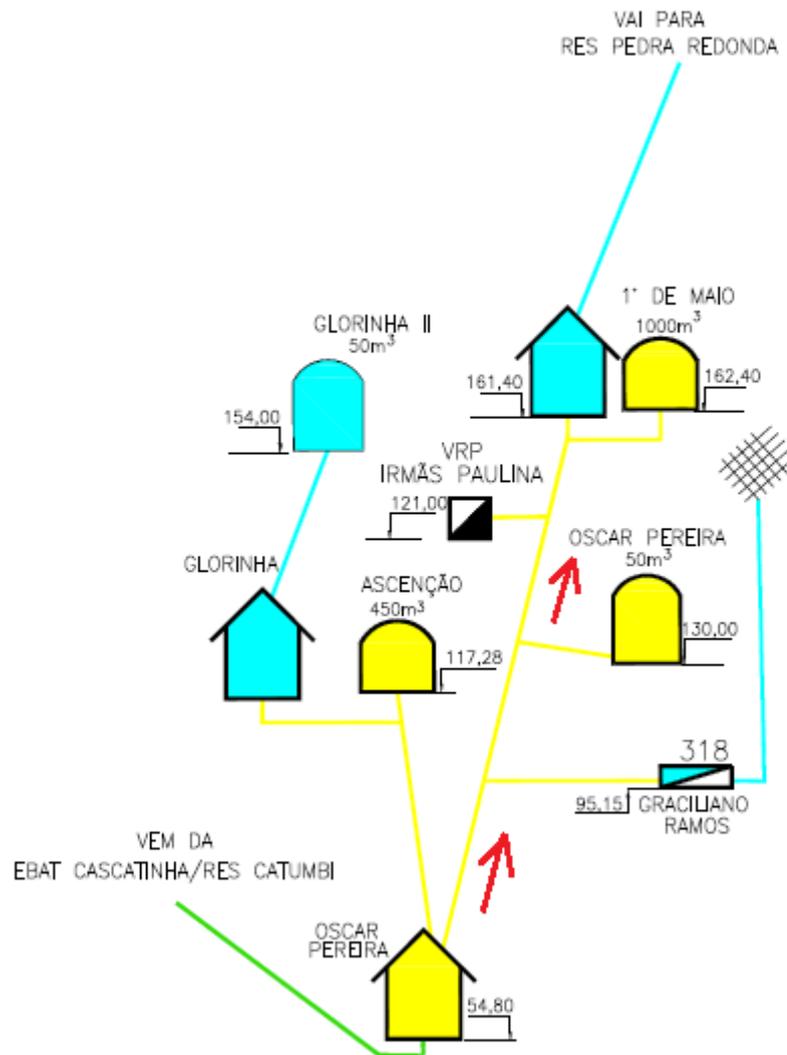


Figura 11: Esquema vertical com o bombeamento a partir da EBAT Oscar Pereira. Fonte DMAE.

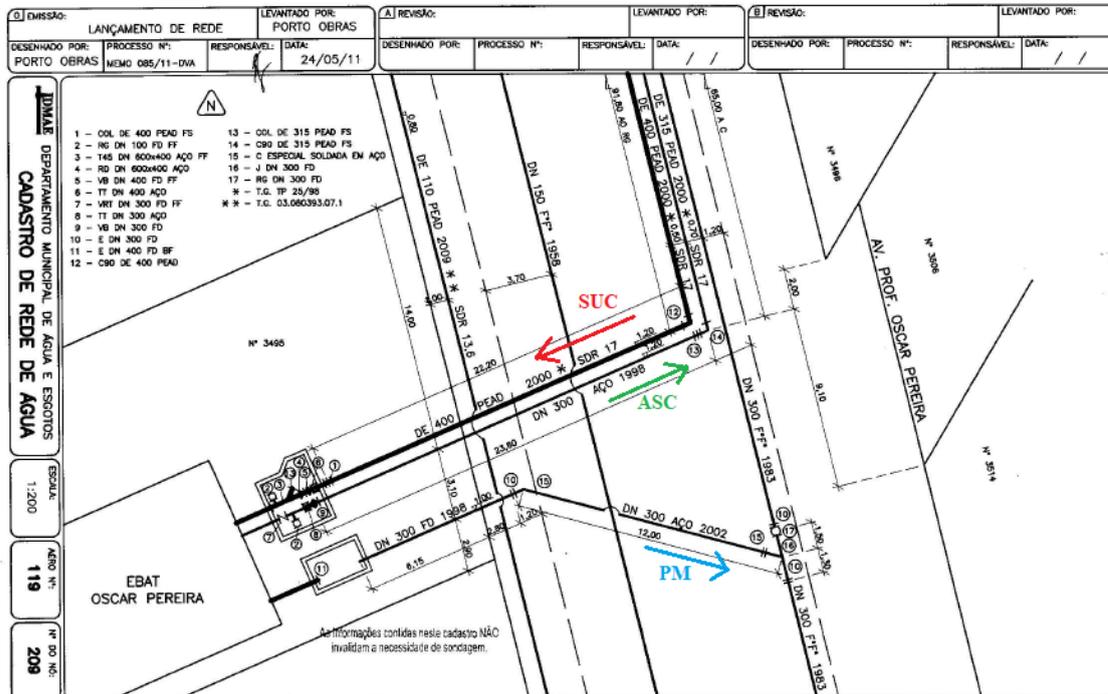


Figura 12: Croqui com o detalhamento das tubulações de recalque e sucção da EBAT Oscar Pereira (SUC – linha de sucção, PM - linha de recalque para o reservatório Primeiro de Maio, ASC – linha de recalque para o reservatório. Fonte DMAE.

3.2.2.1. Disposição Grupos Motor/Bomba da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio

A estação elevatória possui seis grupos motor/bomba, três para o reservatório Primeiro de Maio e três para o reservatório Ascensão. Na tabela 6 estão descritos os dados técnicos dos grupos em operação na estação elevatória. Como dito anteriormente, a operação e quantidade de grupos operando variam conforme demanda e nível dos reservatórios.

Tabela 6: Dados técnicos dos grupos motor/bomba instalados, nas posições 4 a 6 da EBAT Oscar Pereira para Reservatório Primeiro de Maio. Fonte: DMAE.

GRUPOS 4 - 6			
BOMBA		MOTOR	
MARCA	KSB	MARCA	WEG
MODELO	MEGANORM 125-400	MODELO	4P 250SM 1297
TIPO	Centrífuga	POTÊNCIA	100
VAZÃO (l/s)	80	RPM	1775
ALTURA (mca)	54,64	DIST. BASE/CENTRO EIXO	250

NPSHr (mca)	3	DIAM. EIXO	65
RPM	1750	TENSÃO (V)	380/660
DIST. BASE/CENTRO EIXO	315	CORRENTE (A)	139/80
DIÂMETRO SUCCÃO	150		
DIÂMETRO RECALQUE	125		
RENDIMENTO (%)	83		
ACOPLAMENTO	GUMMI A070		
DIÂMETRO ROTOR	354		

3.3. Medidor de Pressão

As estações elevatórias do sistema de abastecimento de água de Porto Alegre possuem equipamentos do tipo: manômetros, vacuômetros, transdutores, sensores de pressão e dataloggers. Que permitem o controle e adequação da operação conforme a necessidade do sistema. Existem dispositivos fixos e outros que são instalados adequando à necessidade da operação. Dependendo do equipamento e finalidade, sua leitura pode ser feita no local de instalação, como os manômetros, ou de forma remota, como os dataloggers.

Os dispositivos do tipo datalogger estão configurados para armazenar dados de pressão a cada 3 minutos, sendo que a frequência de leitura dos dados pode variar conforme a configuração do aparelho. Nas estações elevatórias os registradores estão instalados depois da válvula de retenção (VR).

Nas figuras 13 e 14, é possível visualizar o datalogger utilizado, ele é da marca Microcom, modelo Nemos N200+. Possui proteção IP68, comunicação GSM, quatro entradas digitais e duas analógicas.

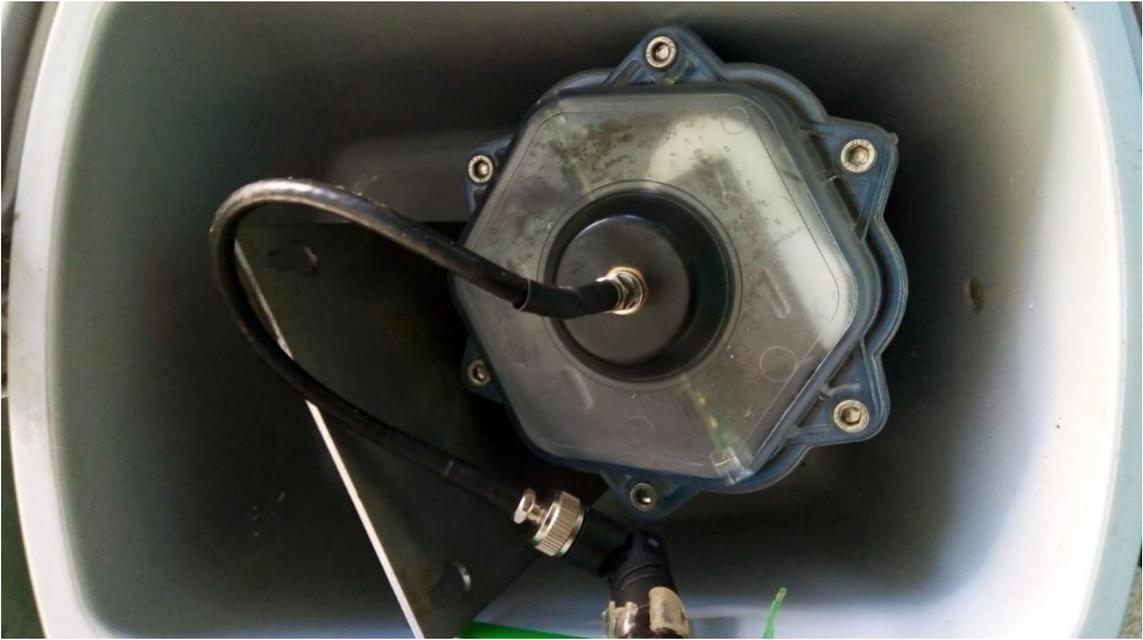


Figura 13: Foto da frente do datalogger utilizado. Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 14: Foto de cima do datalogger utilizado. Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados são enviados via comunicação GSM para o site Zeus Web, na figura 15 podemos visualizar a interface inicial do site.

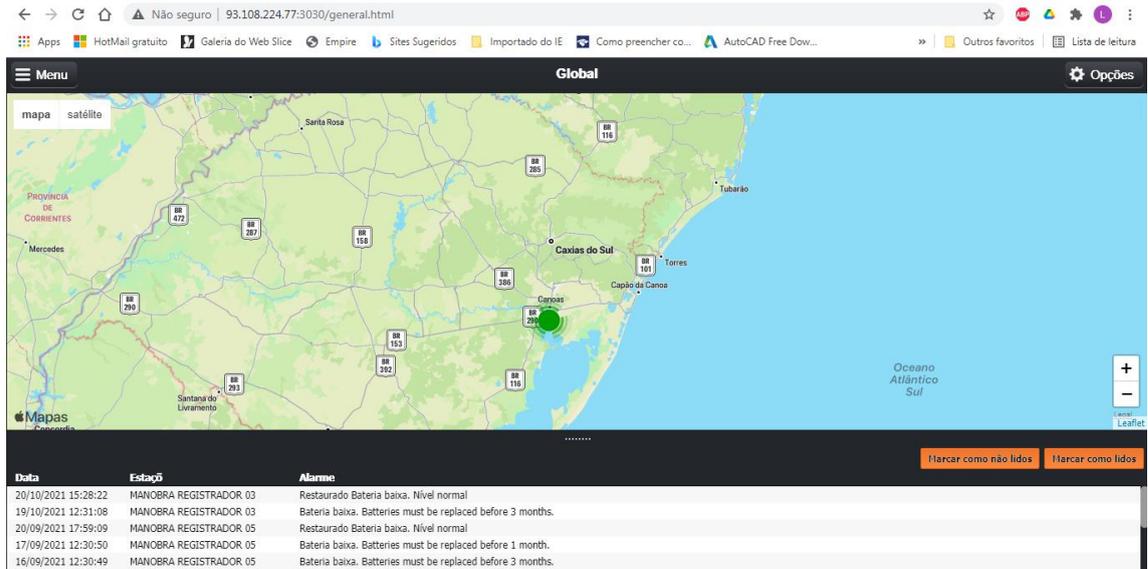
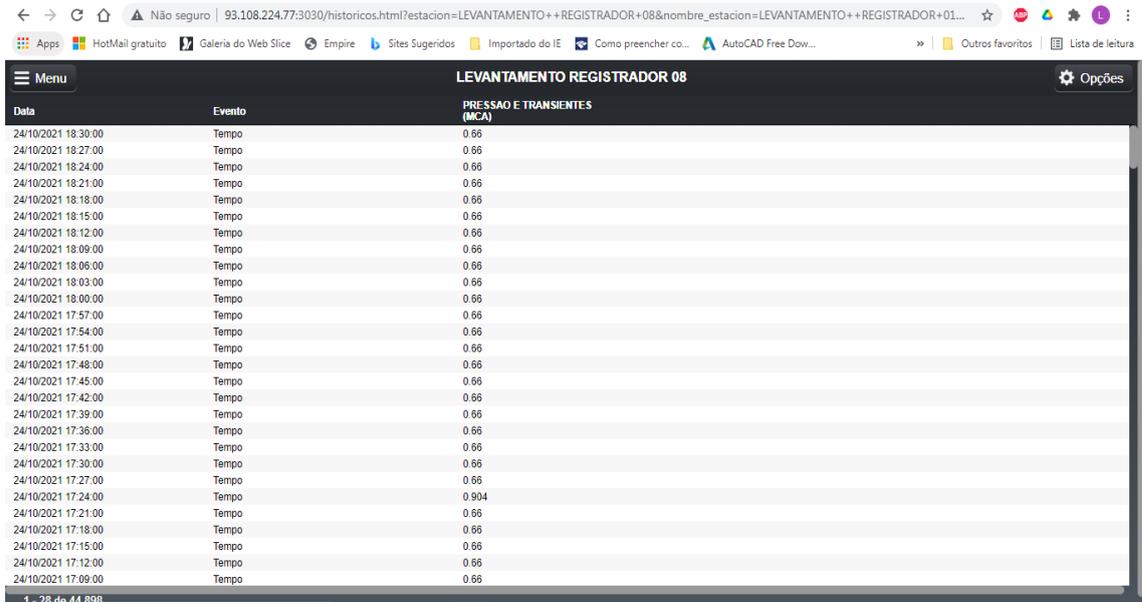


Figura 15: Página inicial do site Zeus Web, que recebe os dados do datalogger via GSM. Fonte: Elaborado pela autora.

Podem ser visualizados em gráficos, figura 16, e em planilhas, figura 17, direto no site, ou exportar para planilhas formato de Excel.



Figura 16: Exemplo de gráfico obtido diretamente no site Zeus Web. Fonte: Elaborado pela autora.



Data	Evento	PRESSAO E TRANSIENTES (MCA)
24/10/2021 18:30:00	Tempo	0.66
24/10/2021 18:27:00	Tempo	0.66
24/10/2021 18:24:00	Tempo	0.66
24/10/2021 18:21:00	Tempo	0.66
24/10/2021 18:18:00	Tempo	0.66
24/10/2021 18:15:00	Tempo	0.66
24/10/2021 18:12:00	Tempo	0.66
24/10/2021 18:09:00	Tempo	0.66
24/10/2021 18:06:00	Tempo	0.66
24/10/2021 18:03:00	Tempo	0.66
24/10/2021 18:00:00	Tempo	0.66
24/10/2021 17:57:00	Tempo	0.66
24/10/2021 17:54:00	Tempo	0.66
24/10/2021 17:51:00	Tempo	0.66
24/10/2021 17:48:00	Tempo	0.66
24/10/2021 17:45:00	Tempo	0.66
24/10/2021 17:42:00	Tempo	0.66
24/10/2021 17:39:00	Tempo	0.66
24/10/2021 17:36:00	Tempo	0.66
24/10/2021 17:33:00	Tempo	0.66
24/10/2021 17:30:00	Tempo	0.66
24/10/2021 17:27:00	Tempo	0.66
24/10/2021 17:24:00	Tempo	0.904
24/10/2021 17:21:00	Tempo	0.66
24/10/2021 17:18:00	Tempo	0.66
24/10/2021 17:15:00	Tempo	0.66
24/10/2021 17:12:00	Tempo	0.66
24/10/2021 17:09:00	Tempo	0.66

Figura 17: Exemplo de como os dados são obtidos diretamente no site Zeus Web. Fonte: Elaborado pela autora.

3.3.1 EBAT Cascatinha

Para aplicação no estudo utilizamos os datalogger instalados juntos às esperas dos manômetros da EBAT Cascatinha nas tubulações de recalque para os reservatórios Catumbi e Caieira, respectivamente. Nas fotos 18, 19 e 20 é possível identificar os dataloggers e manômetros instalados na EBAT Cascatinha.



Figura 18: Datalogger instalado no recalque da EBAT Cascatinha/RES Catumbi. Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 19: Datalogger instalado no recalque da EBAT Cascatinha/RES Catumbi. Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 20: Datalogger instalado no recalque da EBAT Cascatinha/RES Caieira. Fonte: Elaborado pela autora.

3.3.2 EBAT Oscar Pereira

Na EBAT Oscar Pereira, também, foi utilizado datalogger de pressão, com configuração de leitura a cada 3 minutos e de transientes. Na seguinte figura 21, identificamos o datalogger instalado na tubulação de recalque da EBAT Oscar Pereira para o reservatório Primeiro de Maio.



Figura 21: Datalogger instalado no recalque da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio. Fonte: Elaborado pela autora.

3.4. Medidor de vazão

Nas tubulações de recalque das estações elevatórias do sistema de abastecimento da cidade de Porto Alegre podemos encontrar caixas subterrâneas, onde estão instaladas estações pitométricas (EP) para a medição da vazão bombeada de água tratada.

Ao longo de toda cidade há, além das estações pitométricas, macromedidores que possuem a mesma finalidade de medir vazão, também em caixas subterrâneas, mas são utilizados para a medição da vazão fornecida para determinada área, onde na maioria das vezes, não há faturamento.

Nas estações pitométricas estão instalados registros de derivação, na superfície do tubo, denominadas de TAP. Para a medição da vazão neste dispositivo, são utilizados em conjunto tubo pitot e datalogger de vazão. Na figura 22, demonstramos um exemplo do dispositivo citado, que foi instalado na EP da EBAT Gioconda, localizado na zona norte de Porto Alegre.



Figura 22: Exemplo de datalogger instalado com tubo pitot. Fonte: Elaborado pela autora.

Para fins deste trabalho, foi utilizado datalogger de mesma marca e modelo do medidor de pressão, mas possuindo mais uma sonda.

3.4.1 EBAT Cascatinha

Foram utilizados medidores de vazão tipo tubo pitot e datalogger para registro dos parâmetros hidráulicos, ambos instalados em estação pitométrica. Na tubulação de recalque para o reservatório Catumbi o ponto de instalação na EP estava distante 112,40 m e no ponto da EP para o reservatório Caieira 26,80 m distante da saída do bombeamento. O datalogger registra vazão, velocidade, pressão, transientes hidráulicos, volume e diferencial de pressão.

Na figura 23, está indicado em laranja o local onde foi instalado o medidor de vazão na tubulação de recalque da EBAT Cascatinha/RES Catumbi. E na figura 7, está indicado o TAP em que foi instalado o medidor de vazão para o sistema de recalque EBAT Cascatinha/RES Caieira.

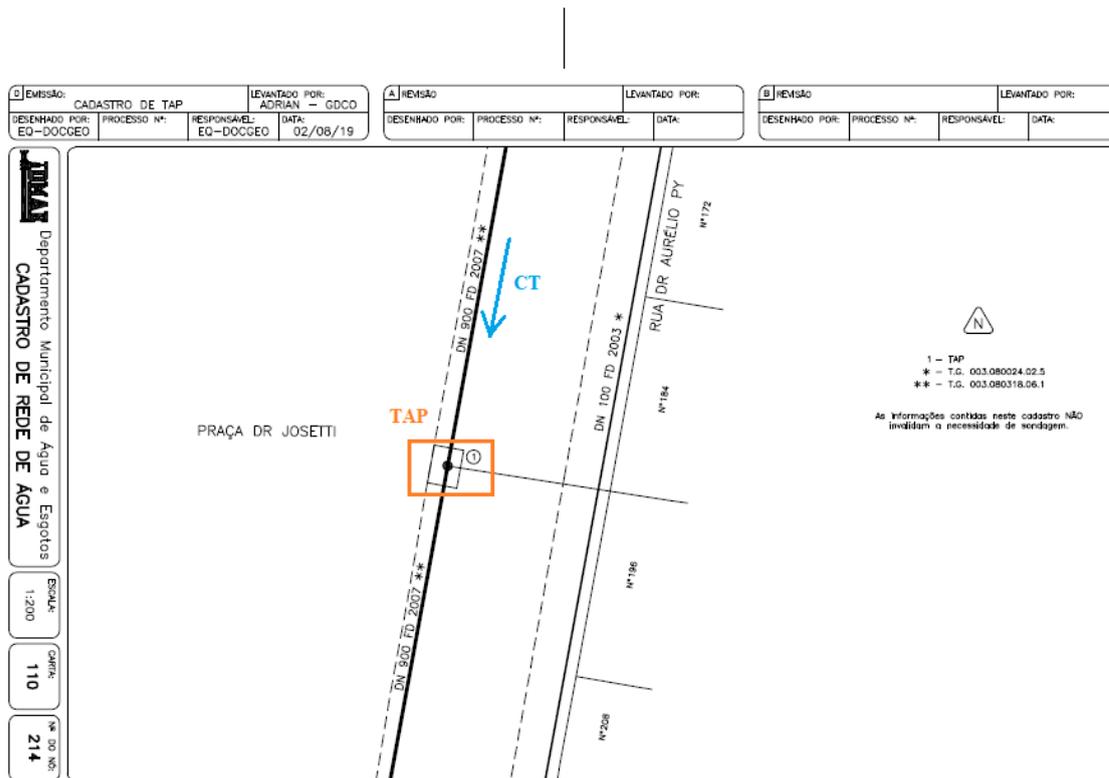


Figura 23: Croqui com o detalhamento da tubulação de recalque da EBAT Cascatinha para o Reservatório Catumbi, com a localização da EP (CT – linha de recalque da EBAT Cascatinha para o reservatório Catumbi e TAP – estação pitométrica). Fonte: DMAE.

Para a instrumentação na EBAT Cascatinha para o reservatório Catumbi e reservatório Caieira, os dois dataloggers utilizados estavam configurados para a obtenção de dados a cada 3 minutos, mas apenas o datalogger instalado dentro da elevatória, junto a saída dos manômetros, estava configurado para a leitura de transientes hidráulicos.

3.4.2. EBAT Oscar Pereira

Nesta elevatória, também, foram utilizados medidor de vazão tipo tubo pitot e datalogger para registro dos parâmetros hidráulicos, instalados na estação pitométrica distante 79,40 m da saída do bombeamento. O datalogger registra vazão, velocidade, pressão, transientes hidráulicos, volume e diferencial de pressão.

Na figura 24, está indicado em laranja o local que foi instalado o medidor de vazão na tubulação de recalque da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio.

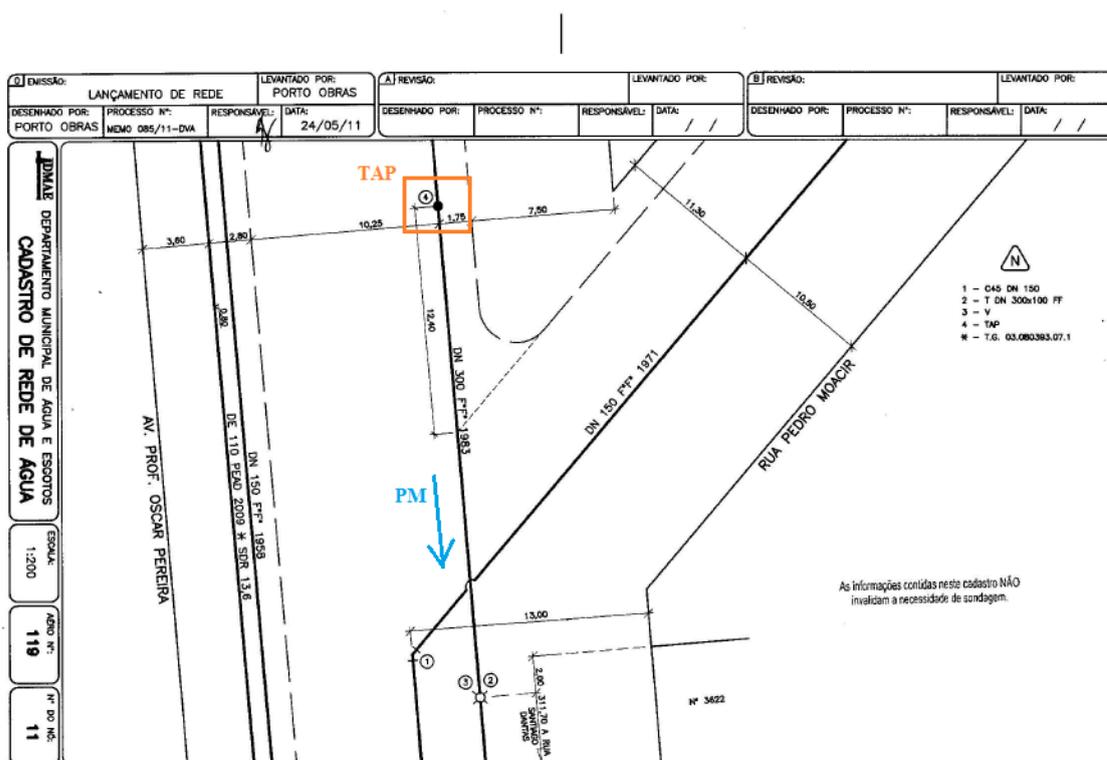


Figura 24: Croqui com o detalhamento da tubulação de recalque da EBAT Oscar Pereira para o Reservatório Primeiro de Maio, com a localização da EP. (PM – linha de recalque da EBAT Oscar Pereira para o reservatório Primeiro de Maio e TAP – estação pitométrica). Fonte: DMAE.

Os dados de funcionamento de acionamento/desligamento dos grupos foram obtidos através de informações fornecidas pela operação do DMAE.

Para a instrumentação na EBAT Oscar Pereira para o reservatório Primeiro de Maio, os dois dataloggers utilizados estavam configurados para a obtenção de dados a cada 3 minutos e de transientes hidráulicos. Foram coletados os dados simultâneos dentro da estação elevatória e na estação pitométrica, de 17/08/2021 até 23/08/2021.

4. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados encontrados com a instrumentação, utilizando datalogger de pressão e vazão, nas estações elevatórias Oscar Pereira, bombeamento para o reservatório Primeiro de Maio, e Cascatinha, nas duas tubulações de recalques existentes, para o reservatório Catumbi e Caieira.

4.1. EBAT Oscar Pereira e Res. Primeiro de Maio

No primeiro momento serão analisados três dias, 18/08/21, 19/08/2021 e 22/08/2021, com suas particularidades, os dados de pressão obtidos para os outros dias de leituras estão no anexo F.

Conforme figura 25, se observa que o comportamento das pressões é semelhante nos dois pontos de medição, na EP e EBAT. O gráfico em vermelho representa a pressão dentro da EBAT e em azul a pressão na estação pitométrica. Foi identificado uma variação média de 6 mca, devido ao desnível geométrico dos dois pontos de medição, entre os dois gráficos.

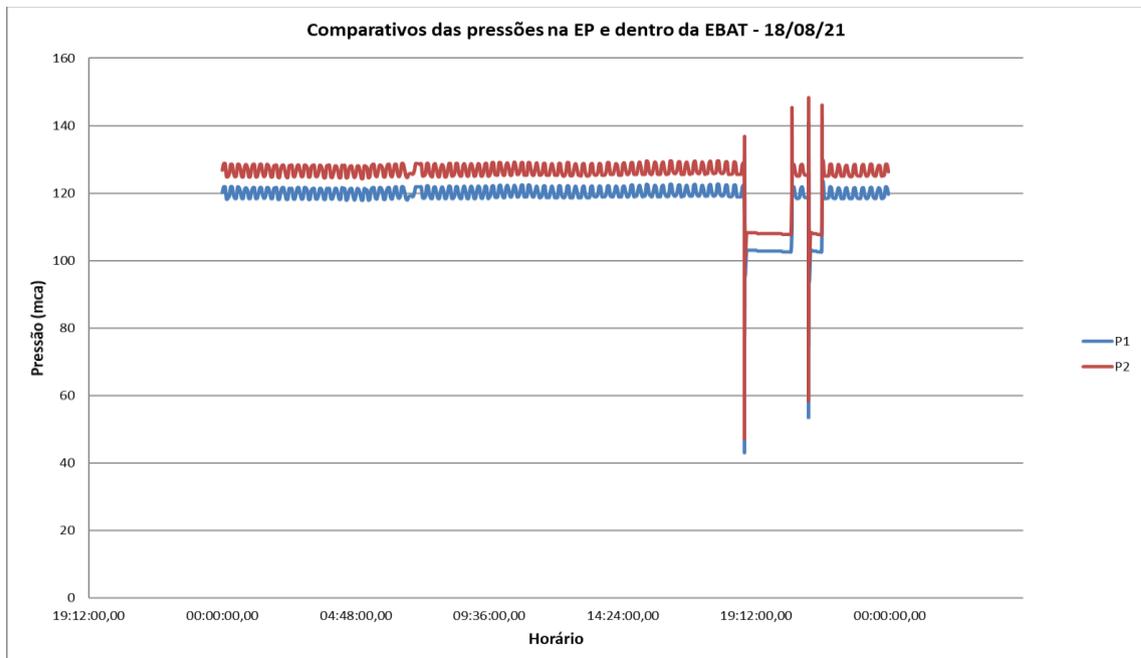


Figura 25: Gráfico comparativo das pressões nos dois pontos de coleta de dados da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio (P2) e na EP (P1) –18/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Na figura 26, temos como exemplo o evento D2, terceira ocorrência de transiente do dia observado, onde se observa com detalhes a sua ocorrência.

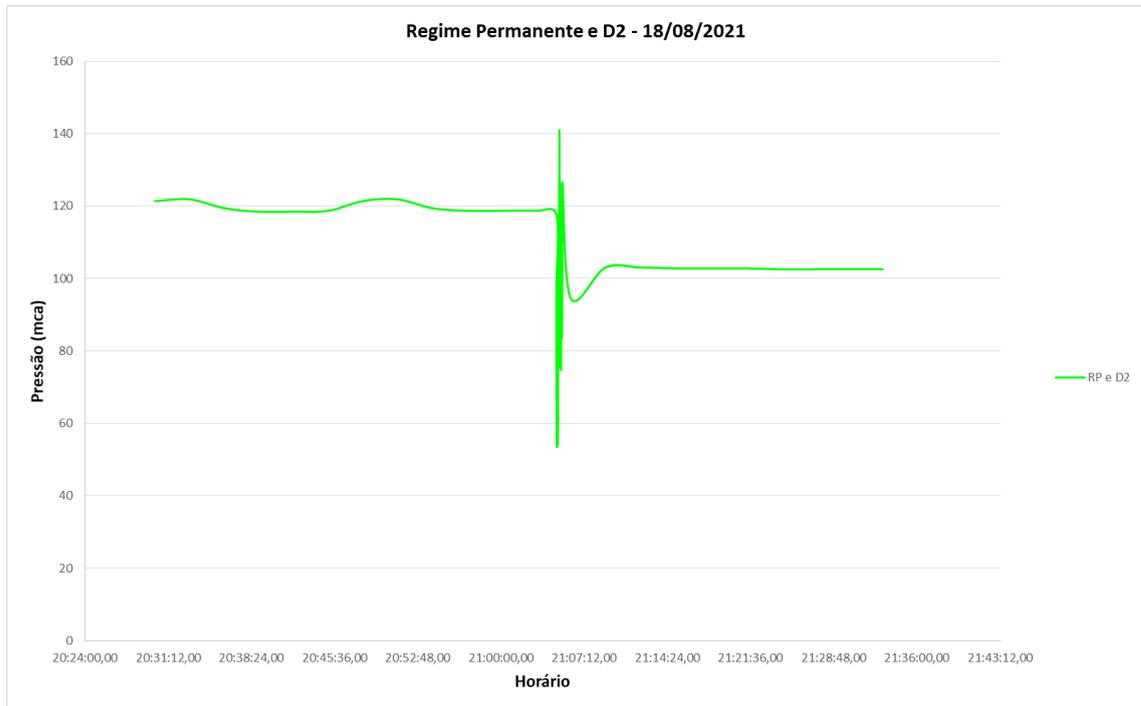


Figura 26: Gráfico da pressão em regime permanente e do transiente hidráulico D2 da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio - 18/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

No gráfico da figura 27, se observa com mais detalhes o comportamento dos transientes que ocorreram no dia 18/08/21. Foram quatro eventos, dois com tempo de duração em torno de 30 segundos, que comparados com os dados de desligamento dos grupos motor/bomba do DMAE, figura 28, evidenciam que esta ação ocasiona os transientes, os outros dois que tem duração em torno de 15 segundos foram ocasionados pelo acionamento e desligamento em um curto período.

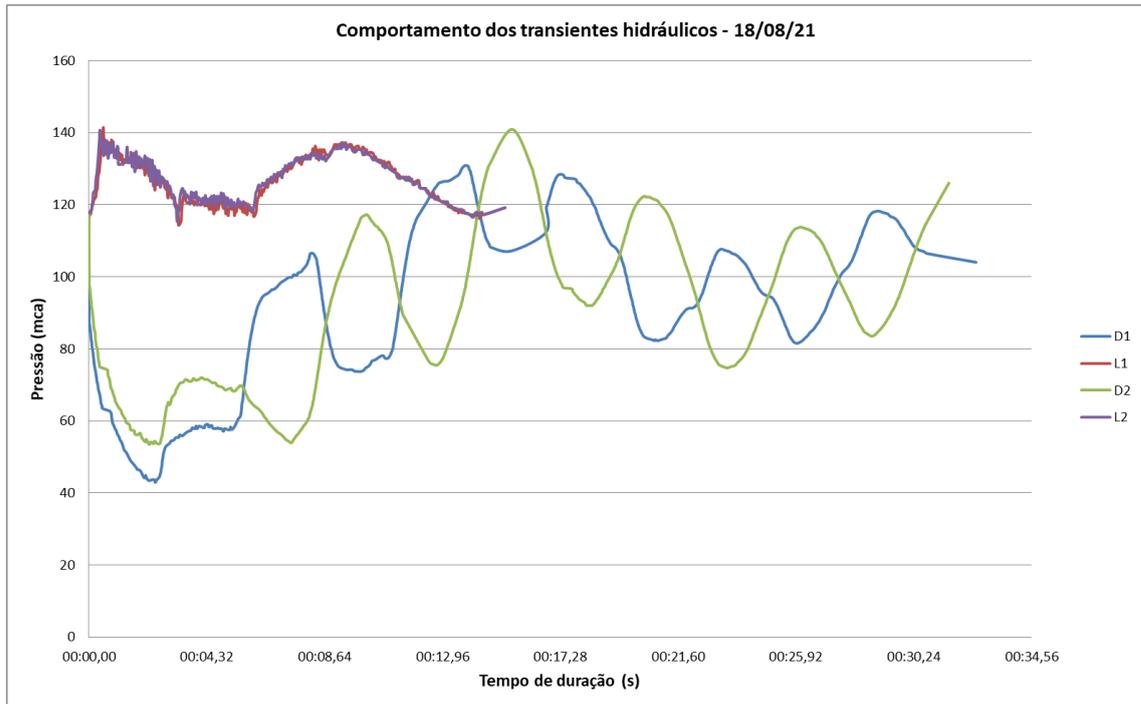


Figura 27: Gráfico dos transientes hidráulicos da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio –18/08/2021.
Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Na tabela 7, é possível visualizar de forma resumida as ocorrências dos transientes e a variação em relação à pressão no regime permanente.

Tabela 7: Resumo das ocorrências dos transientes no dia 18/08/2021– EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Evento	Horário de ocorrência	P permanente (mca)	P max (mca)	P min (mca)	ΔH max	ΔH min	Período (s)	Tempo de duração do transiente (s)
1	18:46:29,49	120,170	130,914	42,937	10,744	77,233	0:00:02,50	00:00:32,53
2	20:28:59,74	102,602	141,442	109,897	38,840	7,295	0:00:01,50	00:00:15,26
3	21:04:47,58	119,754	140,934	53,446	21,18	66,308	0:00:03,50	00:00:31,53
4	21:33:57,92	101,931	140,689	115,274	38,758	13,343	0:00:01,50	00:00:15,26

Se observa que no momento do desligamento do grupo 02, às 18:46:29,49 (E1), a pressão diminuiu para 42,937 mca, com vazão $Q = 0$, figura 29. Logo em seguida, há o fechamento da válvula de retenção (VR) evitando o fluxo contrário do fluido, com isso observam-se oscilações de pressão. Com uma variação máxima de 10,744 mca e variação

mínima de 77,233 mca, em relação ao regime permanente. Após amortecimento da oscilação de pressão, devido a aceleração da massa líquida, a pressão registrada foi de 104,032 mca, correspondendo à altura manométrica de recalque.

As 20:28:59,74 (E2), há o acionamento do grupo 02, onde há um aumento brusco da pressão, de 102,602 mca no regime permanente para 109,897 mca correspondendo à partida da bomba, ocorrendo a aceleração da coluna líquida de zero até a velocidade de escoamento permanente. Neste momento, observam-se oscilações de pressões. Nos outros eventos de transientes o ciclo se repete.

No gráfico da figura 28, se observa que o grupo 02 foi o único acionado, linha vermelha, os grupos 01 e 03, linhas azul e verde, respectivamente, ficaram desligados durante o dia. Comparando-se com os horários de ocorrência, evidenciamos o que foi mencionado anteriormente, que os transientes ocorreram devido ao desligamento do grupo e à retomada do bombeamento.

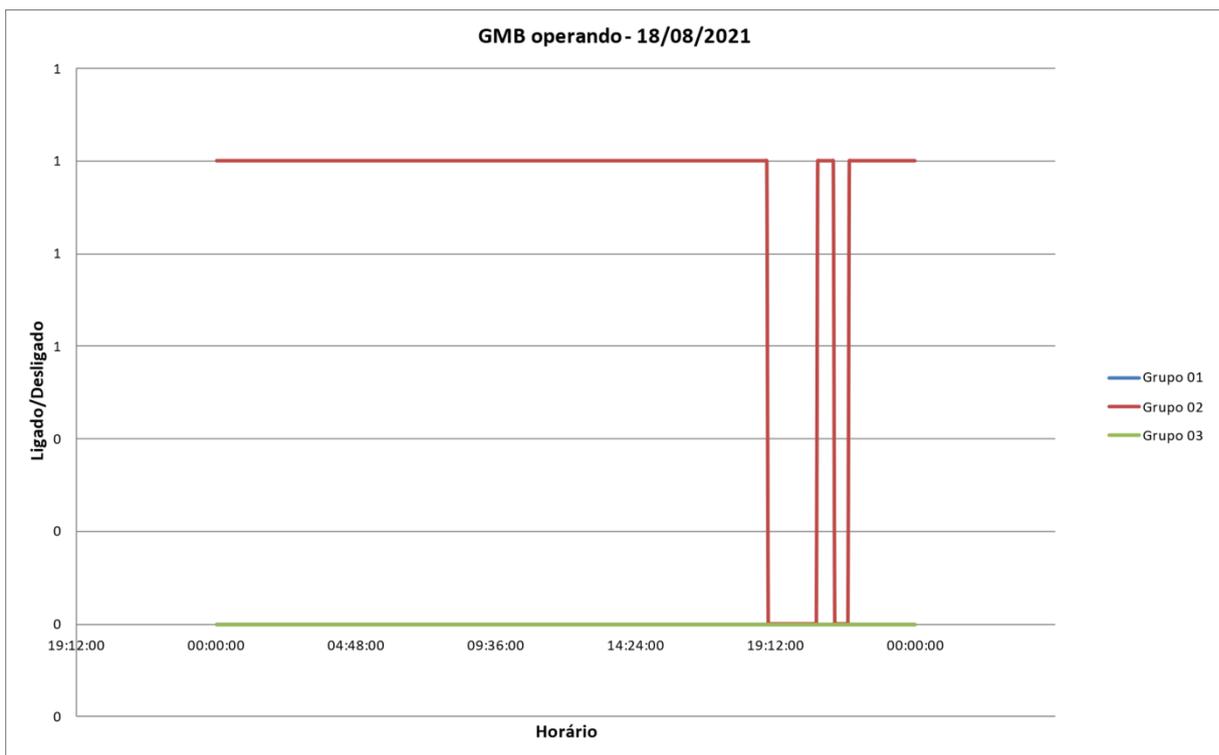


Figura 28: Gráfico dos grupos ligados (1) e desligados (0) da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio – 18/08/2021. Fonte: DMAE.

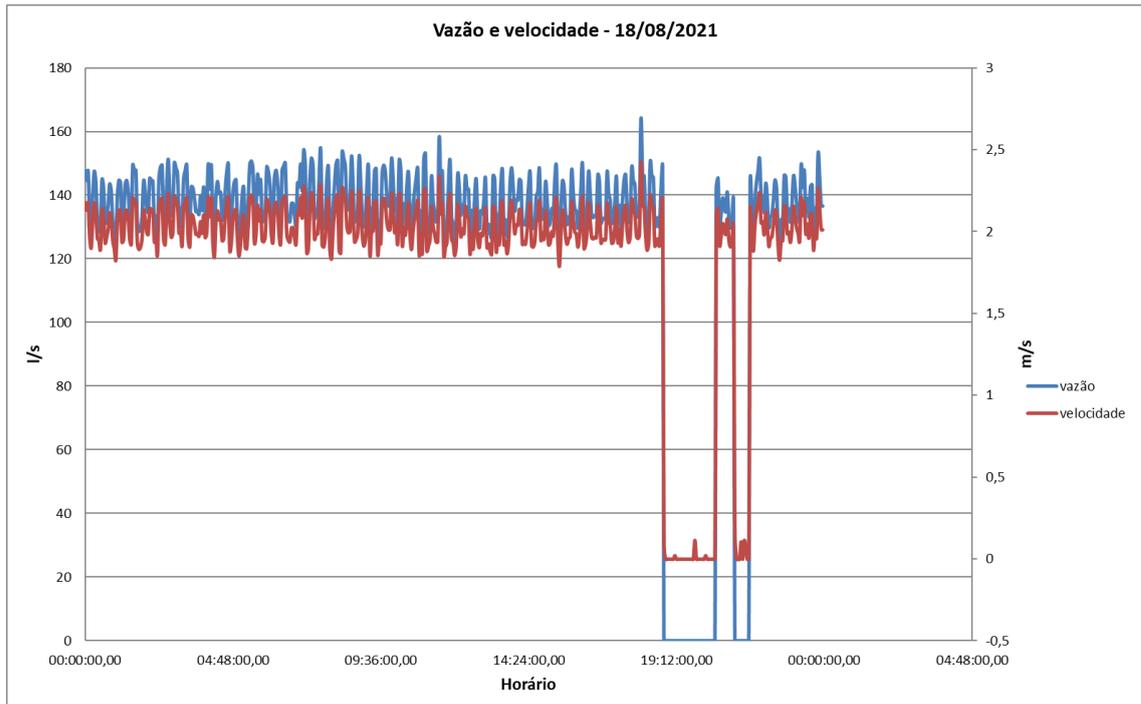


Figura 29: Gráfico da vazão e velocidade da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio – 18/08/2021. Fonte: DMAE.

No dia 19/08/21, o comportamento nos dois pontos segue o mesmo padrão. A figura 30, mostra que há uma variação de pressão em torno de 6 e 7 mca, quando o bombeamento ocorre em regime permanente. Houve maiores ocorrências de perturbações no bombeamento e em determinado momento do dia a pressão se manteve praticamente constante. Nesta figura também se identificam oscilações de pressões mais elevadas, correspondentes às manobras de acionamento e desligamento.

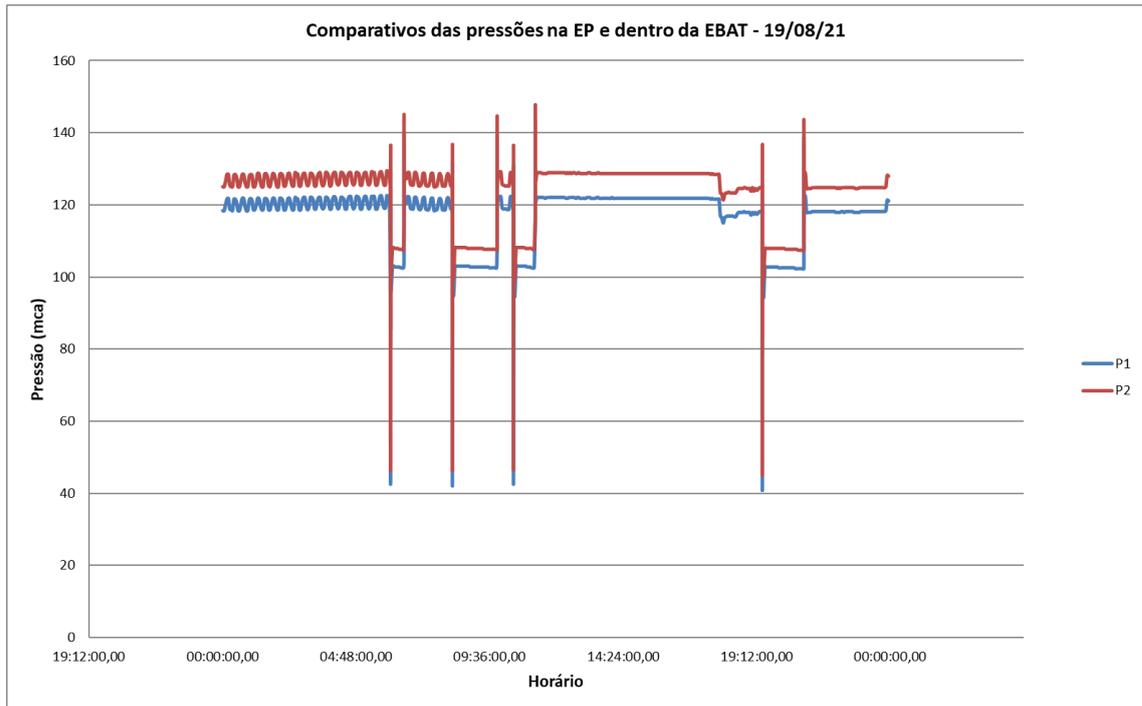


Figura 30: Gráfico comparativo das pressões nos dois pontos de coleta de dados da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio (P2) e na EP (P1) – 19/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Na figura 31, temos como exemplo o evento D1, primeira ocorrência de transiente no dia, onde se observa com detalhes a sua ocorrência.

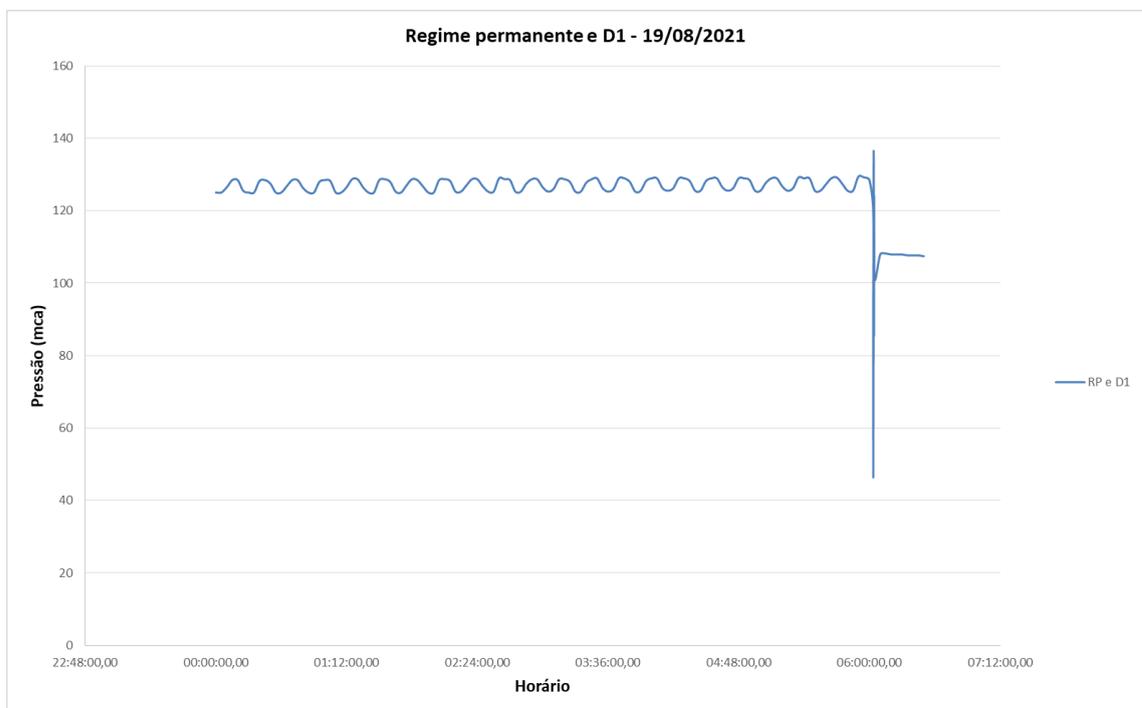


Figura 31: Gráfico da pressão em regime permanente e do transiente hidráulico D1 da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio –19/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

No gráfico da figura 32, se observa com mais detalhes o comportamento dos transientes que ocorreram no dia 19/08/21. Ocorreram oito eventos de transientes hidráulicos,

quatro com tempo de duração em torno de 30 segundos e quatro com duração em torno de 15 segundos, que comparados com os dados de acionamentos/desligamentos dos grupos motor/bomba do DMAE, figura 30, evidenciam que esta ação ocasiona os transientes. Este é um comportamento recorrente.

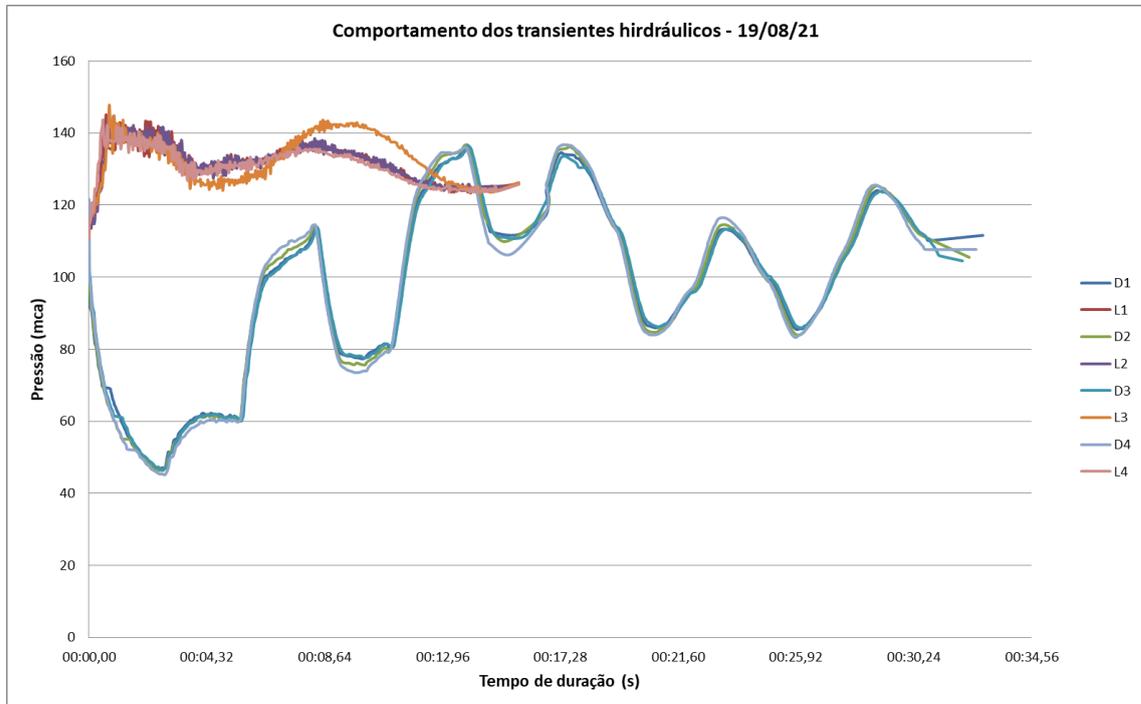


Figura 32: Gráfico dos transientes hidráulicos da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio – 19/08/2021.
Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Se observa que no momento do desligamento do grupo 02, figura 33, às 06:02:08,00 (D1), a pressão diminuiu para 96,212 mca, com vazão $Q = 0$, figura 34. Logo em seguida, há o fechamento da válvula de retenção (VR) evitando o fluxo contrário do fluido, com isso observam-se oscilações de pressão. Com uma variação máxima de 9,384 mca e variação mínima de 80,792 mca, em relação ao regime permanente. Após amortecimento da oscilação de pressão, devido a aceleração da massa líquida, a pressão registrada foi de 100,855 mca, correspondendo à altura manométrica de recalque.

Às 06:31:13,32 (L1), há o acionamento do grupo 02, onde há um aumento brusco da pressão, de 107,454 mca no regime permanente para 114,052 mca correspondendo à partida da bomba, ocorrendo a aceleração da coluna líquida de zero até a velocidade de escoamento permanente. Neste momento, observam-se oscilações de pressões. Nos outros eventos de transientes o ciclo se repete.

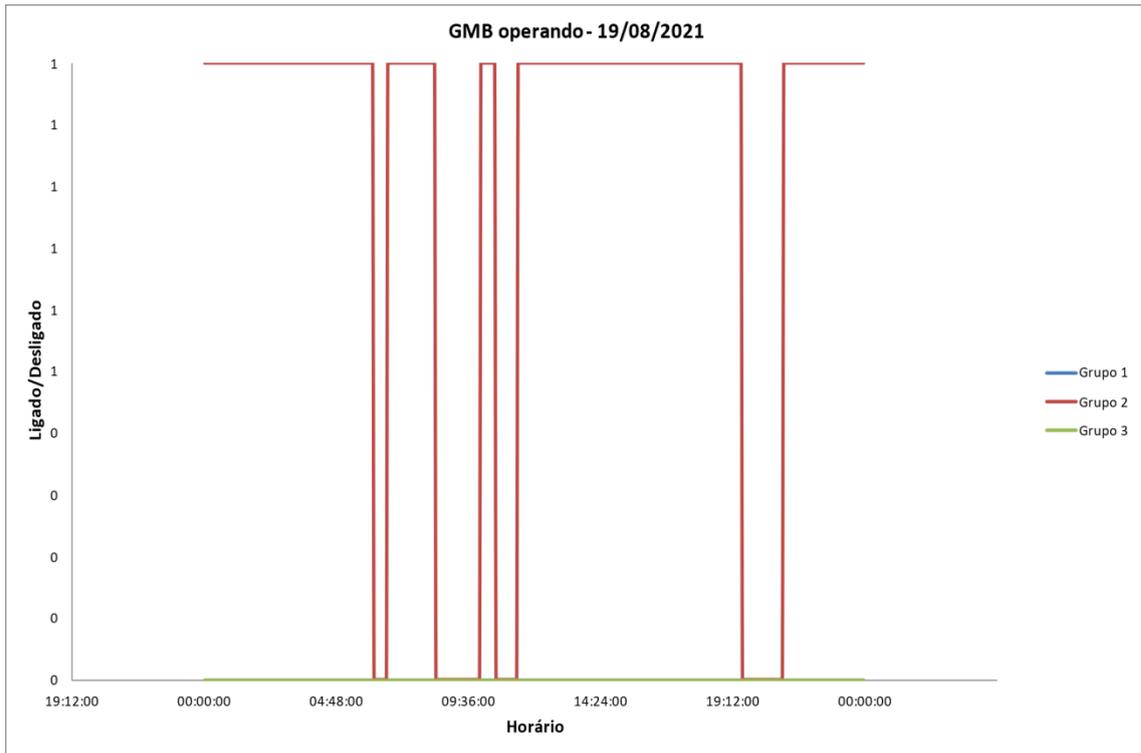


Figura 33: Gráfico dos grupos ligados (1) e desligados (0) da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio – 19/08/2021. Fonte: DMAE.

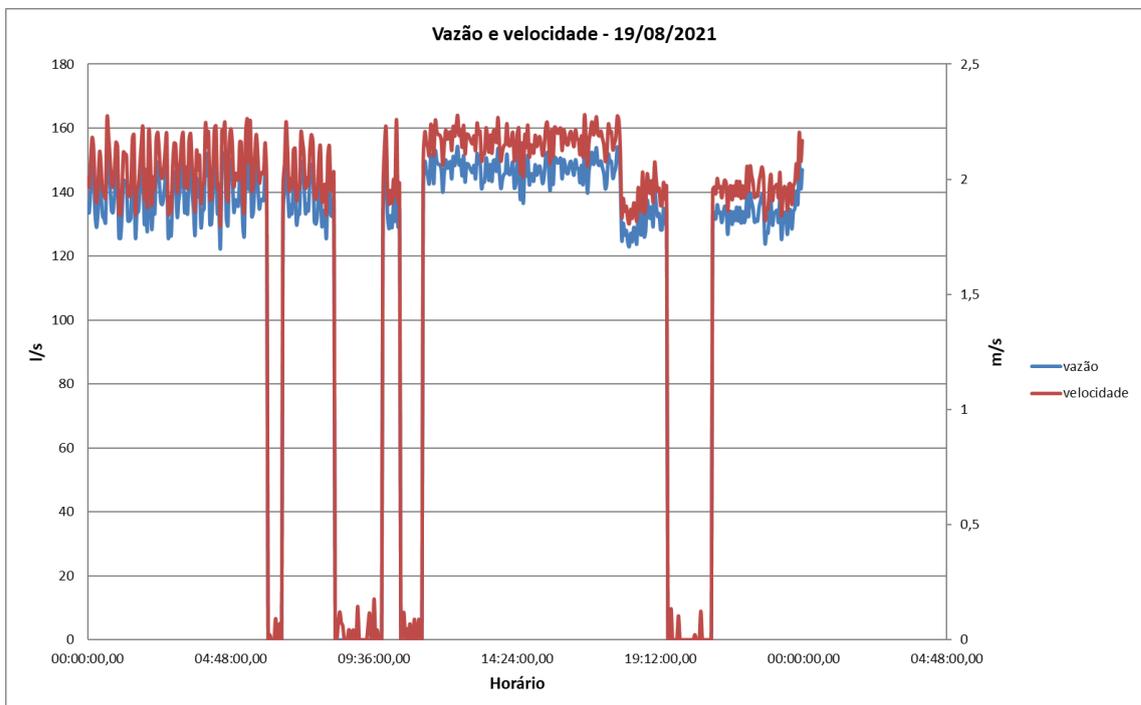


Figura 34: Gráfico da vazão e velocidade da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio – 19/08/2021. Fonte: DMAE.

Na tabela 6, é possível visualizar de forma resumida estas ocorrências e sua variação em relação à pressão no regime permanente.

Comparando as informações da figura 28 com a tabela 8, evidencia-se que os transientes ocorreram devido ao desligamento dos grupos e à retomada do bombeamento, coincidindo os horários de ocorrência.

Tabela 8: Resumo das ocorrências dos transientes no dia 19/08/2021 – EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Evento	Horário de ocorrência	P permanente (mca)	P máx (mca)	P min (mca)	ΔH max	ΔH min	Período (s)	Tempo de duração do transiente (s)
1	06:02:08,00	127,151	136,535	46,359	9,384	80,792	0:00:03,00	00:00:32,78
2	06:31:13,32	107,136	145,088	113,563	37,952	6,427	0:00:01,50	00:00:15,76
3	08:15:34,75	126,815	136,779	46,359	9,964	80,456	0:00:03,00	00:00:32,28
4	09:52:14,00	107,667	144,599	107,454	36,932	0,213	0:00:01,50	00:00:15,27
5	10:27:23,05	126,719	136,535	46,603	9,816	80,116	0:00:03,00	00:00:32,03
6	11:14:40,42	107,437	147,776	115,274	40,339	7,837	0:00:01,50	00:00:15,76
7	19:24:27,59	127,831	136,779	45,137	8,948	82,694	0:00:03,00	00:00:32,53
8	20:54:11,29	107,494	143,622	110,386	36,128	2,892	0:00:01,50	00:00:15,77

No dia 22/08/2021, figura 35, verificamos mais um exemplo de que o comportamento é semelhante nos dois pontos de coleta de dados. Com a variação da pressão se mantendo em torno de 6 mca, quando as bombas estavam ligadas em regime considerado permanente. Também, se identificam a ocorrência dos transientes hidráulicos, visualizados com mais detalhes na figura 30.

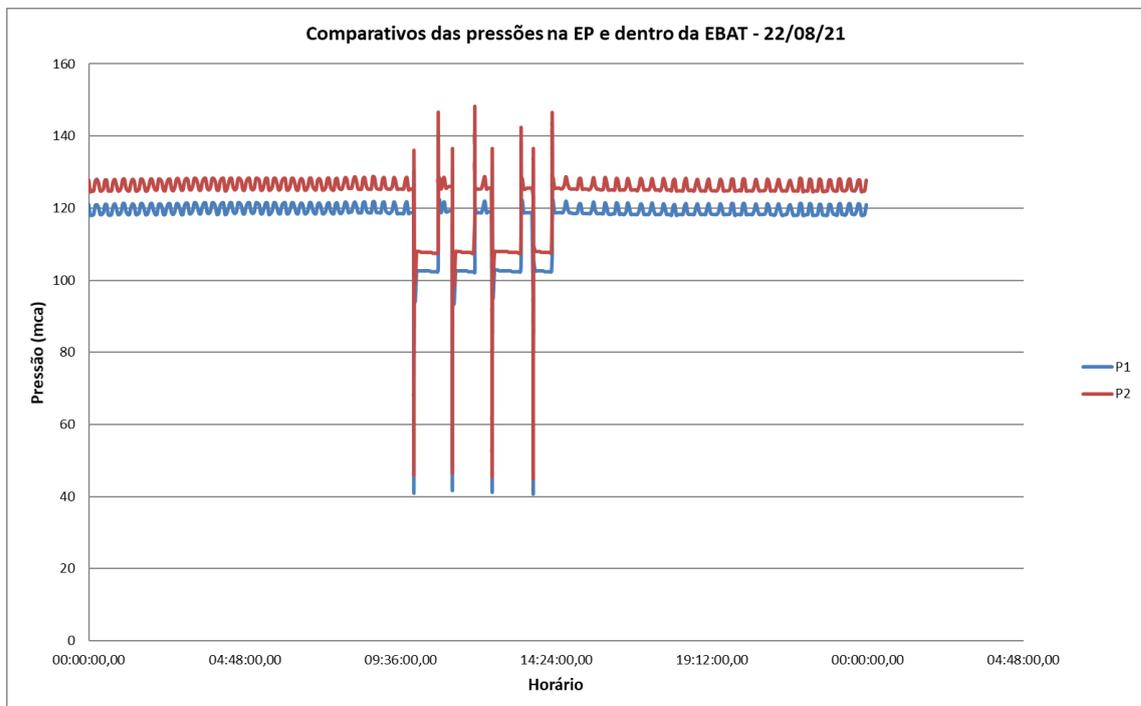


Figura 35: Gráfico comparativo das pressões nos dois pontos de coleta de dados da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio (P2) e na EP (P1) – 22/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Na figura 36, temos como exemplo o evento L1, segunda ocorrência de transiente no dia, onde se observa com detalhes a sua ocorrência.

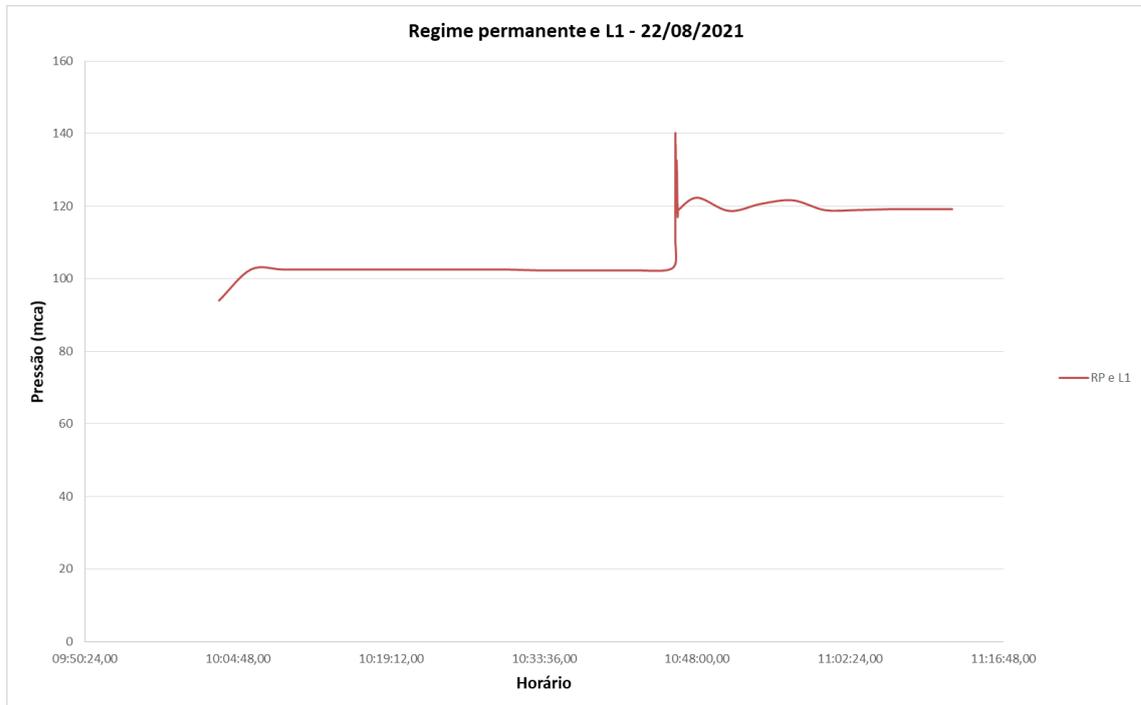


Figura 36: Gráfico da pressão em regime permanente e do transiente hidráulico L1 da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio – 22/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Ocorreram oito eventos de transientes neste dia, figura 37, quatro apresentam comportamento semelhante, de duração em torno de 30 segundos e os outros cinco, com duração em torno de 15 segundos, ocasionados devido ao ligar e desligar dos grupos. Na figura 38, também é possível verificar esta informação, identificando quando os grupos foram ligados e desligados.

Se observa que no momento do desligamento do grupo 02, às 10:00:52,00 (D1), a pressão diminuiu para 109,409 mca, com vazão $Q = 0$, figura 39. Logo em seguida, há o fechamento da válvula de retenção (VR) evitando o fluxo contrário do fluido, com isso observam-se oscilações de pressão. Com uma variação máxima de 10,457 mca e variação mínima de 78,742 mca, em relação ao regime permanente. Após amortecimento da oscilação de pressão, devido a aceleração da massa líquida, a pressão registrada foi de 94,013 mca, correspondendo à altura manométrica de recalque.

As 10:45:57,00 (L1), há o acionamento do grupo 02, onde há um aumento brusco da pressão, de 101,914 mca no regime permanente para 110,386 mca correspondendo à partida da bomba, ocorrendo a aceleração da coluna líquida de zero até a velocidade de escoamento

permanente. Neste momento, observam-se oscilações de pressões. Nos outros eventos de transientes o ciclo se repete.

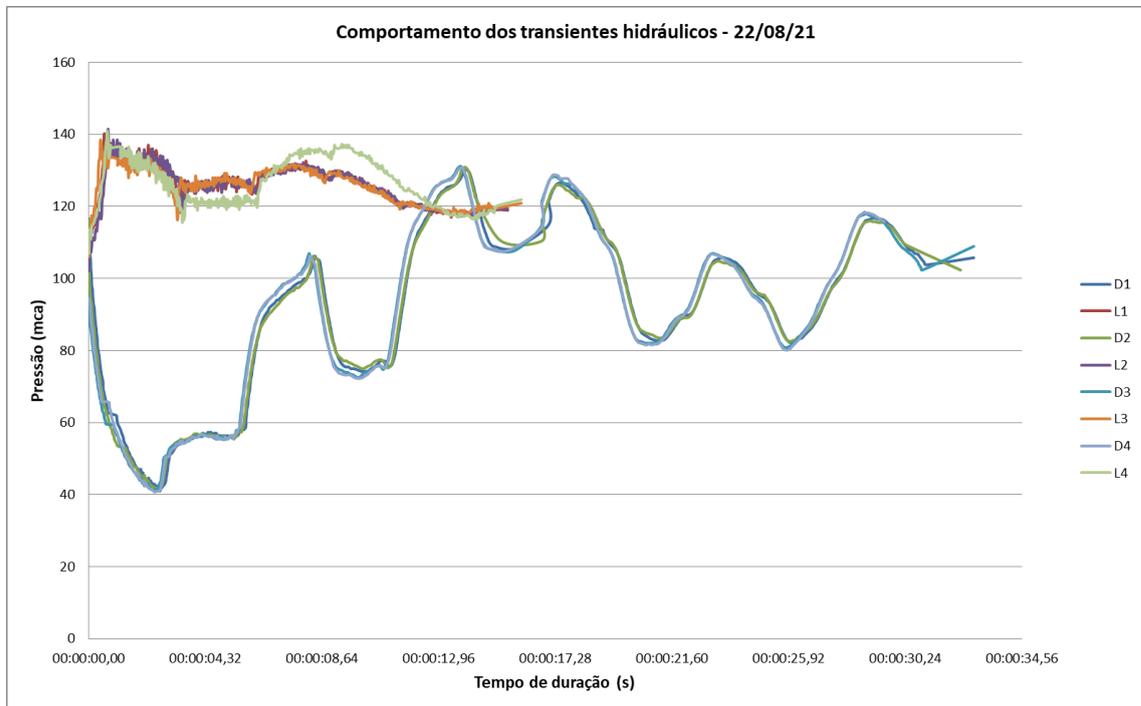


Figura 37: Gráfico dos transientes hidráulicos da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio –22/08/2021.
Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

No gráfico da figura 31, é possível verificar, também, que apenas o grupo 02 foi ligado neste dia, e comparado com a tabela 9, se identifica que os horários de ocorrência dos transientes coincidem com o momento em que os grupos foram ligados e desligado, com uma pequena diferença no registro do horário.

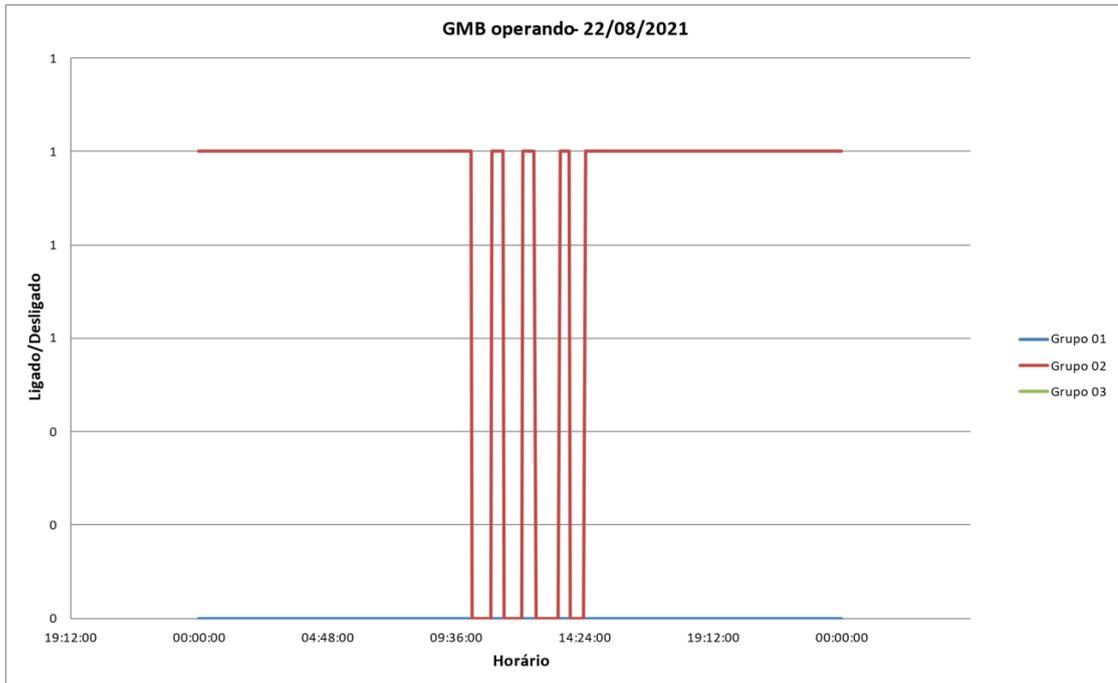


Figura 38: Gráfico dos grupos ligados (1) e desligados (0) da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio – 22/08/2021. Fonte: DMAE.

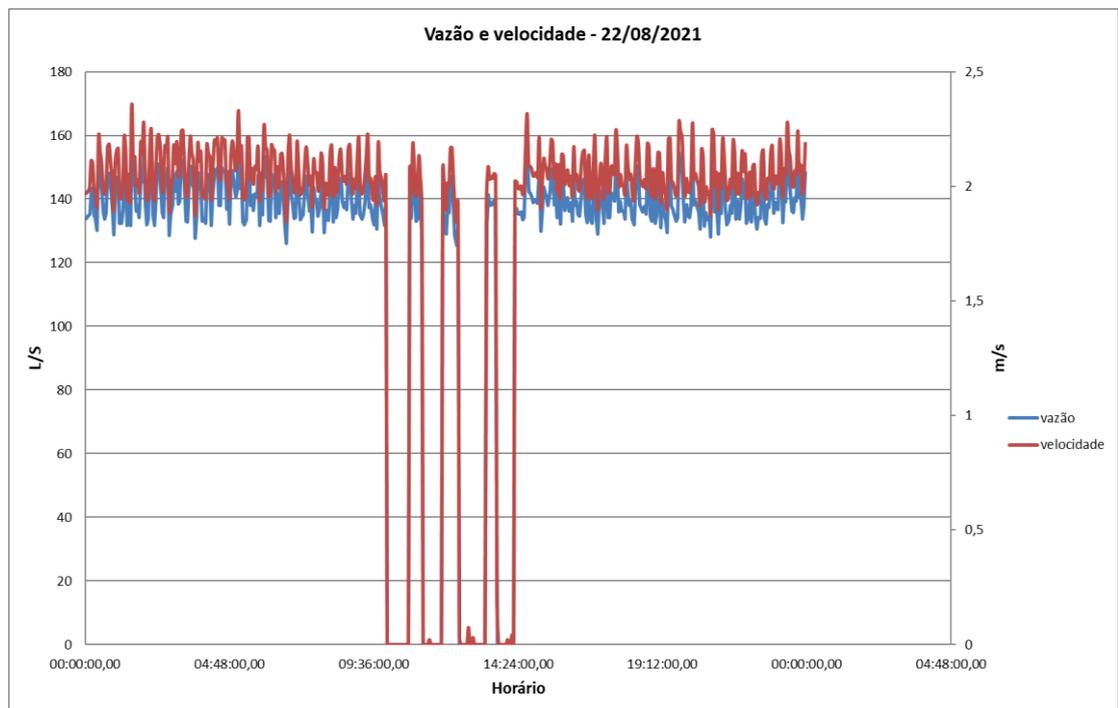


Figura 39: Gráfico da vazão e velocidade da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio – 22/08/2021. Fonte: DMAE.

Tabela 9: Resumo das ocorrências dos transientes no dia 22/08/2021 – EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Evento	Horário de ocorrência	P permanente (mca)	P máx (mca)	P min (mca)	ΔH max	ΔH min	Período (s)	Tempo de duração do transiente (s)
1	10:00:52,00	119,724	130,181	40,982	10,457	78,742	00:00:02,00	00:00:32,78
2	10:45:57,00	101,914	140,200	104,032	38,286	2,118	00:00:01,50	00:00:15,52
3	11:12:00,92	119,863	130,914	41,716	11,051	78,147	00:00:02,00	00:00:32,29
4	11:53:32,52	101,777	141,422	102,077	39,645	0,300	00:00:01,50	00:00:15,51
5	12:25:38,35	119,317	131,158	41,227	11,841	78,090	00:00:02,00	00:00:32,78
6	13:19:09,22	102,104	138,490	105,987	36,386	3,883	00:00:01,50	00:00:16,02
7	13:41:32,53	119,184	130,670	40,738	11,486	78,446	00:00:02,00	00:00:29,47
8	14:16:36,12	102,455	140,934	106,965	38,479	4,510	00:00:01,50	00:00:16,02

Para fins de análise dos dados obtidos, iremos realizar o cálculo da sobrepressão/subpressão, de forma simplificada, utilizando a equação de Joukowski, e verificar, através de comparação, se o obtido na prática está dentro do aceitável.

Como não possuímos todas as informações técnicas necessárias para o cálculo da celeridade, foi necessário pressupor algumas variáveis como a classe da tubulação, e, com isso, obter informações de fabricantes para espessura da parede da tubulação e diâmetro interno.

Para o bombeamento da EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio, os dados conhecidos da tubulação de recalque são o DN 300 e o material de ferro fundido. Baseado nas informações do fabricante Saint-Gobain, considerando o tipo do tubo como ponta e bolsa, por ser o usual do DMAE, obtemos os seguintes parâmetros, tabela 20:

Para o parâmetro k (equação 3) se utilizou o valor de 1,0, conforme tabela 10, por se tratar de uma tubulação de ferro fundido.

A celeridade foi calculada pela equação 2 e a variação de pressão pela eq. de Joukowski (5), manobra rápida.

Tabela 10: Diâmetro interno (D_i) e espessura da parede da tubulação (e) para tubo ponta e bolsa, valores em mm. Fonte: Saint-Gobain.

Classe	k7	k9
D_i	329	
e	5,7	7,2

Com isso, o valor da celeridade para a classe k7 é de 961,5 m/s e para a classe k9 de 1021,14 m/s.

O valor da velocidade média é obtido através da instrumentação na estação pitométrica, com datalogger de vazão, realizando a média dos valores obtidos durante o período de análise.

A velocidade média é 2,04 m/s e a aceleração da gravidade 9,8 m/s², obtemos, assim, o valor da sobrepressão/subpressão devido ao golpe de aríete, $\Delta H_{\text{máx}}$ de 199,98 m para tubo de classe k7 e de 212,4 m para tubo de classe k9.

Sendo a pressão máxima, para o tubo de classe k7 de ferro fundido, igual a pressão permanente de 125 mca mais a sobrepressão calculada de 199,98 m resulta em 325 m, e para a classe k9 em 337,4 m. Comparando-se com os valores medidos com a instrumentação, observou-se que as pressões máximas medidas estão menores do que o calculado e as pressões mínimas maiores, com a pressão máxima ficando próxima de 140 mca e mínima de 40 mca.

A pressão mínima resulta na diferença da pressão em regime permanente com o $\Delta H_{\text{máx}}$ calculado, resultando em -74,98 m para a classe k7 e -87,4 m para a classe k9, valores inferiores a pressão de vapor. Podemos observar que não foram registradas pressões negativas pelo datalogger, com a pressão mínima ficando em torno de 40 mca. Em nenhum dia, foi observado a ocorrência de pressão negativa.

Na condição de pressão mínima negativa, tem-se $P_{\text{abs}} = 10,33 + (-33,58) = -23,25$ m, para tubo k7 e -27,67 m, para tubo k9, abaixo da pressão de vapor. Se o instrumentado tivesse atingido a pressão de vapor seriam necessárias medidas corretivas e preventivas.

Nesta elevatória o dispositivo de proteção é composto por válvula de retenção responsável pelas menores variações de pressão quando da ocorrência do transiente.

4.2. EBAT Cascatinha e Res. Catumbi

Foram selecionados os dias 09/08/2021, 12/08/2021 e 19/08/2021 para a análise das pressões e das perturbações no bombeamento, identificadas nos gráficos. Os gráficos dos outros dias, que não estão exemplificados neste capítulo, estão no Anexo G.

No dia 09/08/2021, na figura 40, podemos identificar que as pressões de dentro da EBAT (P2) e na estação pitométrica (P1) se comportam em determinados momentos do dia de

forma similar e em outros totalmente diferente, sem um padrão e variação da pressão considerável.

Isso se dá devido a posição da EP em relação a estação elevatória, pois não há desnível geométrico considerável entre elas. Também conforme a demanda do sistema a configuração de grupos em funcionamento, figura 44, neste dia ocorreu o aumento da vazão na EP, pois estavam os grupos 02, 03 e 04 ligados, às 01:42:00 o grupo 03 foi desligado e as 02:57:00 o grupo 04, permanecendo apenas o grupo 02 ligado, diminuindo a vazão, figura 43, com isto a pressão na EP reduziu, se igualando a pressão no recalque da EBAT.

Às 06:19:00 o grupo 03 foi novamente ligado, gerando um pico de pressão de 69,58 mca, na EP e na EBAT a pressão reduziu para 60,04 mca. A partir das 08:22:00, o grupo 04 também foi ligado, por se tratar de um horário de alto consumo, aumentando a pressão na EP, até as 14:46:00, onde o grupo 03 foi desligado, neste momento é possível visualizar no gráfico que as pressões nos dois pontos se igualam novamente.

Às 15:01:00 o grupo 04 também foi desligado, permanecendo apenas o grupo 02, é possível visualizar que a pressão na EBAT aumenta em relação a EP, isso se dá devido ao consumo na rede estar alto, exigindo mais vazão do que a fornecida. Às 16:43:00 o grupo 03 foi religado onde se observa que as pressões nos dois pontos se igualam. Já às 17:25:00 o grupo 04 também é religado, permanecendo os grupos 02, 03 e 04 ligados aumentando a vazão na rede e aumentando a pressão na EP para 70,308 mca.

Às 17:57:54,29 os grupos 03 e 04 são desligados ao mesmo tempo, ocasionando o primeiro evento de transiente hidráulico (D5), no momento do desligamento a válvula de retenção (VR) foi acionada, evitando fluxo contrário do fluido, gerando um pico de sobrepressão de 80,572 mca positiva e de 13,123 mca de subpressão, em relação ao regime permanente. Após o amortecimento da oscilação de pressão, devido a aceleração da massa líquida, a pressão registrada foi de 33,651 mca.

As 20:18:53,25 (L5), há o acionamento do grupo 04, onde há um aumento brusco da pressão, de 18,744 mca no regime permanente para 72,263 mca, correspondendo à partida da bomba, ocorrendo a aceleração da coluna líquida de zero até a velocidade de escoamento permanente. Neste momento, observam-se oscilações de pressões.

Cabe salientar que o datalogger instalado na estação pitométrica não estava configurado para a leitura de transientes hidráulicos.

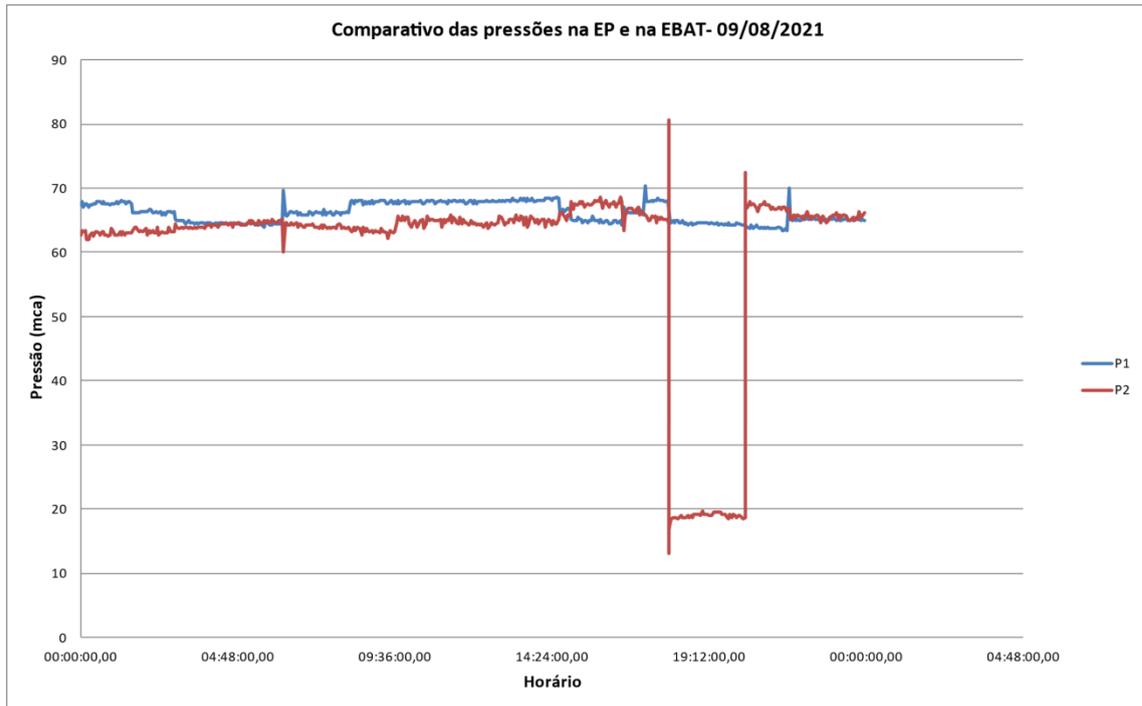


Figura 40: Gráfico do comparativo entre as pressões dentro da EBAT Cascatinha/RES Catumbi (P2) e na EP (P1) – 09/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Na figura 41, temos como exemplo o evento L5, sendo a segunda ocorrência de transiente no dia, onde se observa com detalhes a sua ocorrência.

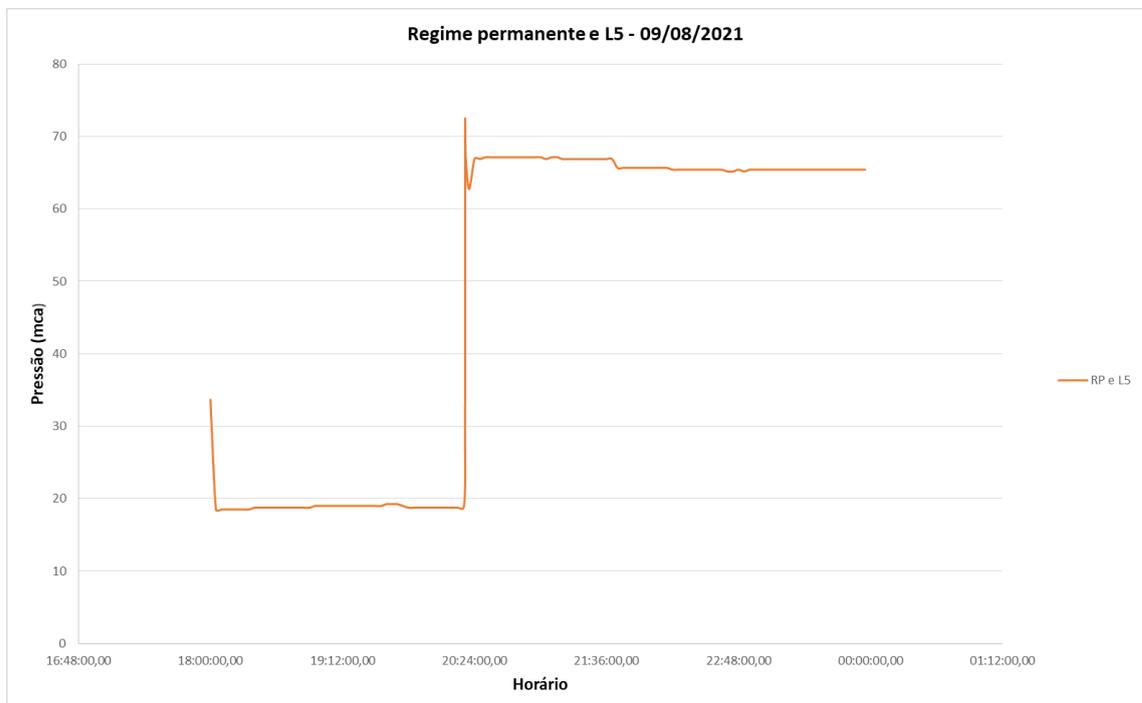


Figura 41: Gráfico da pressão em regime permanente e do transiente hidráulico L5 da EBAT Cascatinha/RES Catumbi – 09/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Como podemos ver mais detalhadamente na figura 42, ocorreram dois eventos de transientes hidráulicos de aproximadamente 15 segundos de duração. Estes eventos tiveram comportamentos diferentes dos evidenciados na EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio, mas originados pelo mesmo fator causador.

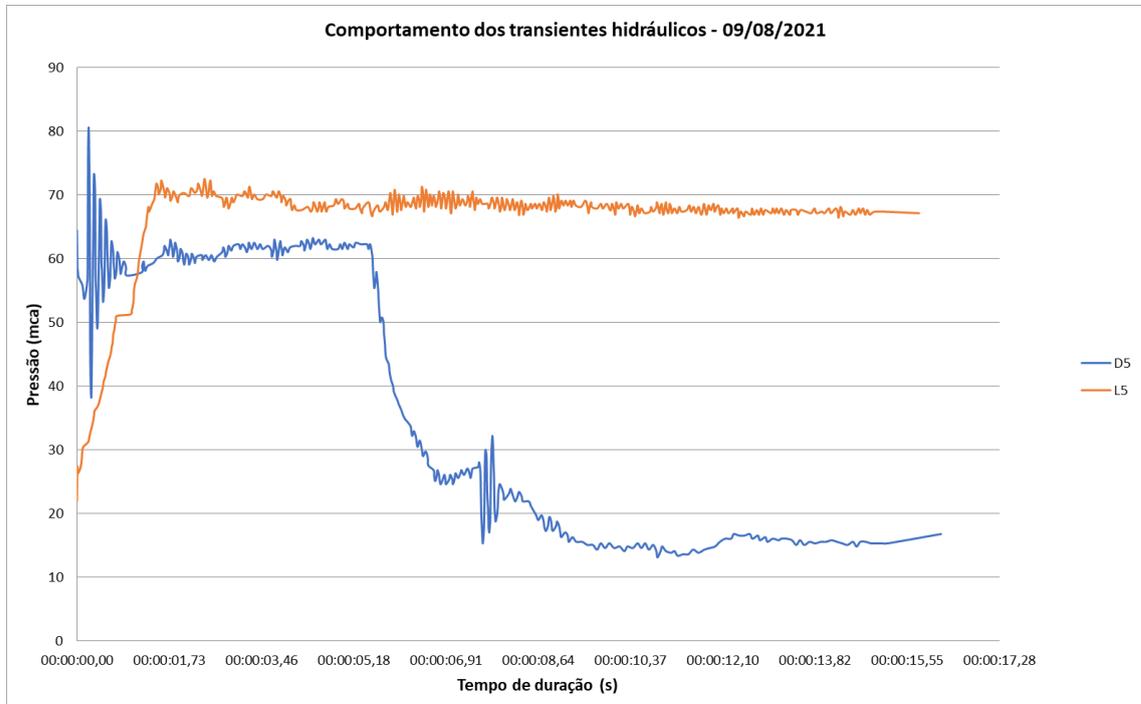


Figura 42: Gráfico dos transientes hidráulicos da EBAT Cascatinha/Catumbi – 09/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Comparando estes eventos com os dados apresentados na figura 44, se evidencia que a causa destes transientes ocorrem devido ao acionamento/desligamento dos grupos motor/bomba, como dito anteriormente. Na tabela 11, vemos de forma resumida em que momento do dia ocorreu, também a variação de pressão durante o transiente e o seu tempo de duração.

Durante o dia o grupo 01 (azul) não foi ligado, o grupo 02 (vermelho) se manteve ligado e os grupos 3 (verde) e 4 (roxo) foram acionados e desligados conforme a necessidade do sistema.

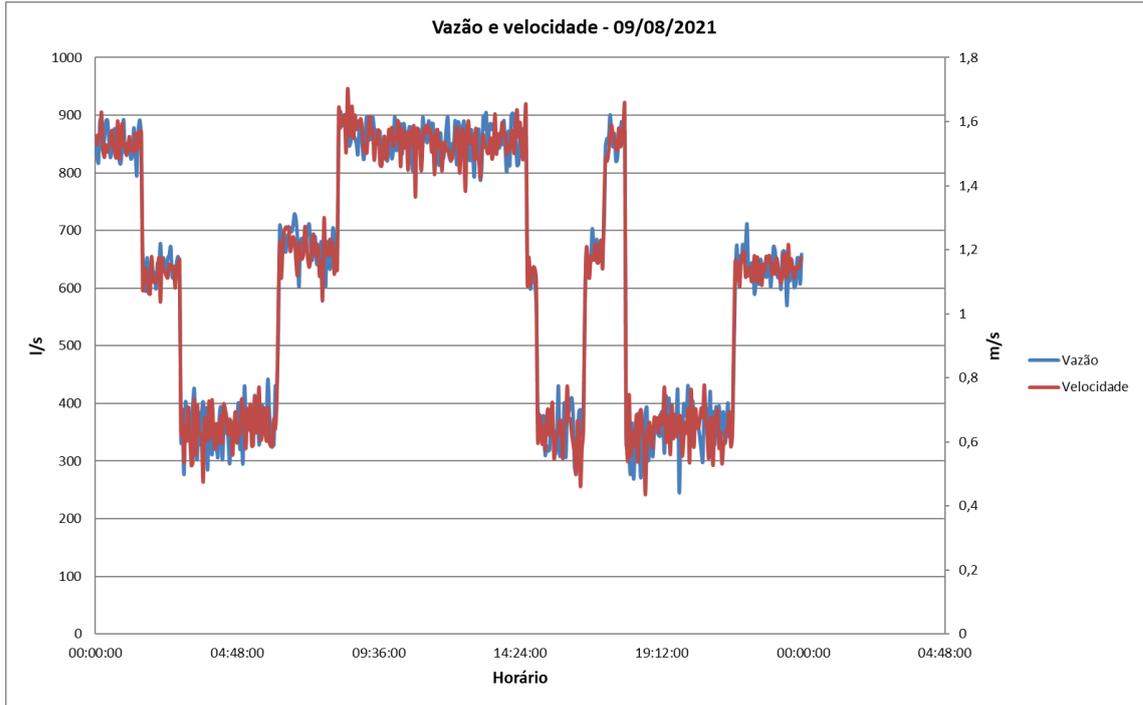


Figura 43: Gráfico da vazão e velocidade da EBAT Cascatinha/RES Catumbi – 09/08/2021. Fonte: DMAE.

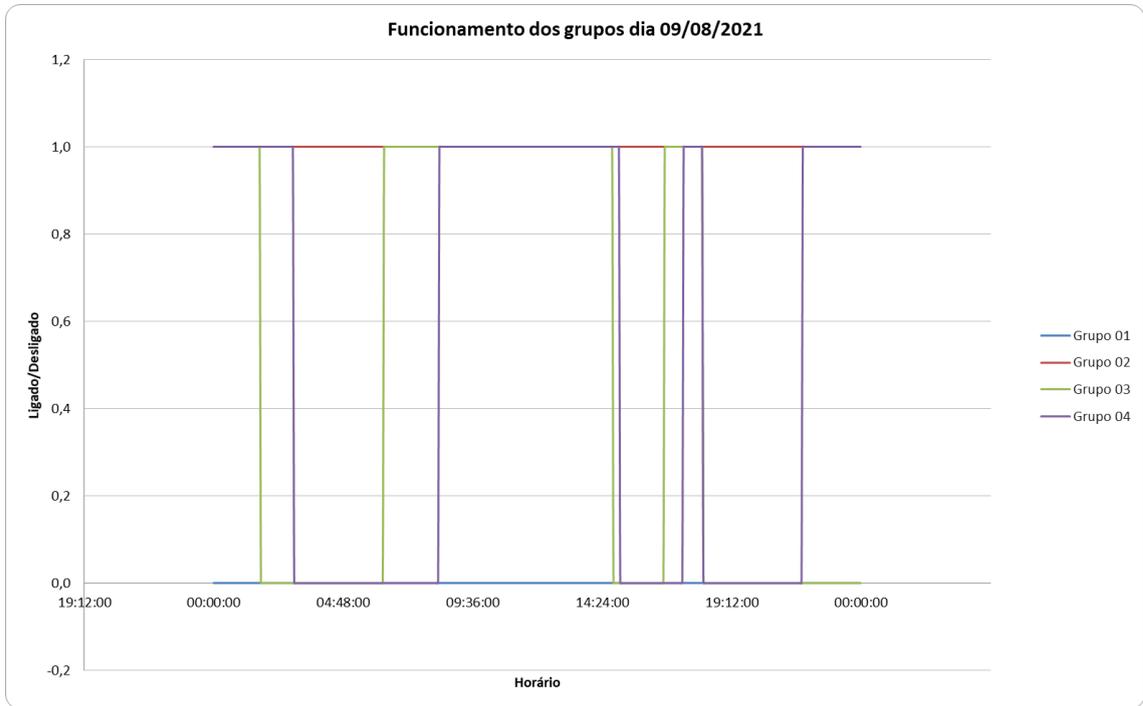


Figura 44: Gráfico dos grupos ligados (1) e desligados (0) da EBAT Cascatinha/RES Catumbi – 09/08/2021. Fonte: DMAE.

Tabela 11: Resumo das ocorrências dos transientes no dia 09/08/2021 – EBAT Cascatinha/RES Catumbi. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Evento	Horário de ocorrência	P permanente (mca)	P máx (mca)	P min (mca)	ΔH max	ΔH min	Período (s)	Tempo de duração do transiente (s)
1	17:57:54,29	64,530	80,572	13,123	16,042	51,407	00:00:01,50	00:00:16,18
2	20:18:55,64	19,129	72,507	21,921	53,378	2,792	00:00:01,50	00:00:15,77

No dia 12/08/2021, na figura 45, podemos identificar que as pressões de dentro da EBAT (P2) e na EP (P1) se comportam em determinados momentos do dia de forma similar e em outros totalmente diferente, evidenciando que a distância que se encontra a estação pitométrica da saída do bombeamento na estação elevatória não influencia na obtenção dos dados da pressão.

Isso se dá devido a posição da EP em relação a estação elevatória, pois não há desnível geométrico considerável entre elas. Também conforme a demanda do sistema a configuração de grupos em funcionamento, figura 49, ocorreu o aumento da vazão na EP, figura 48, pois estavam os grupos 02 e 04 ligados, às 01:03:00 o grupo 04 foi desligado, reduzindo a vazão e consequentemente a pressão na EP também foi reduzida, de 66,398 mca para 63,954, permanecendo apenas o grupo 02 ligado, igualando a pressão no recalque da EBAT.

Às 05:11:00 os grupos 03 e 04 foram ligados ao mesmo tempo, gerando um pico de pressão de 68,109 mca, na EP e na EBAT a pressão se manteve em torno de 64,2 mca, em regime permanente. Os três grupos foram mantidos ligados até às 10:54:11,25, onde o grupo 03 foi desligado e ocorreu o primeiro evento de transiente, registrado pelo datalogger. No momento do desligamento, a válvula de retenção foi acionada, evitando fluxo contrário do fluido, gerando um pico de sobrepessão de 72,263 mca e de 15,078 mca de subpressão, em relação ao regime permanente. Após amortecimento da oscilação de pressão, devido a aceleração da massa líquida, a pressão registrada foi de 66,398 mca,

Os grupos 02 e 04 se mantiveram ligados até 17:56:00, onde o grupo 04 foi desligado, reduzindo a vazão bombeada. Este desligamento gerou o D4, onde, a válvula de retenção foi acionada, evitando fluxo contrário do fluido, com pico de pressão de 74,218 mca, com variação máxima de 7,809 mca e pico de pressão negativa de 17,522 mca, com variação de pressão mínima de 48,887 mca, em relação ao regime permanente. Após amortecimento da oscilação de pressão, devido a aceleração da massa líquida, a pressão registrada foi de 19,996 mca,

Às 19:11:01,51 ocorreu o evento L3, devido ao acionamento do grupo 04, ocasionando no aumento da vazão e em um primeiro momento uma depressão de 18,255 mca, logo em seguida o pico de pressão positiva de 74,707 mca. Ao todo foram registrados quatro eventos de transientes hidráulicos, neste dia, figura 47.

Cabe salientar que o datalogger instalado na estação pitométrica não estava configurado para a leitura de transientes hidráulicos.

Conforme tabela 12, verificamos o momento do dia em que ocorreram os transientes, o comportamento da pressão durante o evento, sua variação e sua duração.

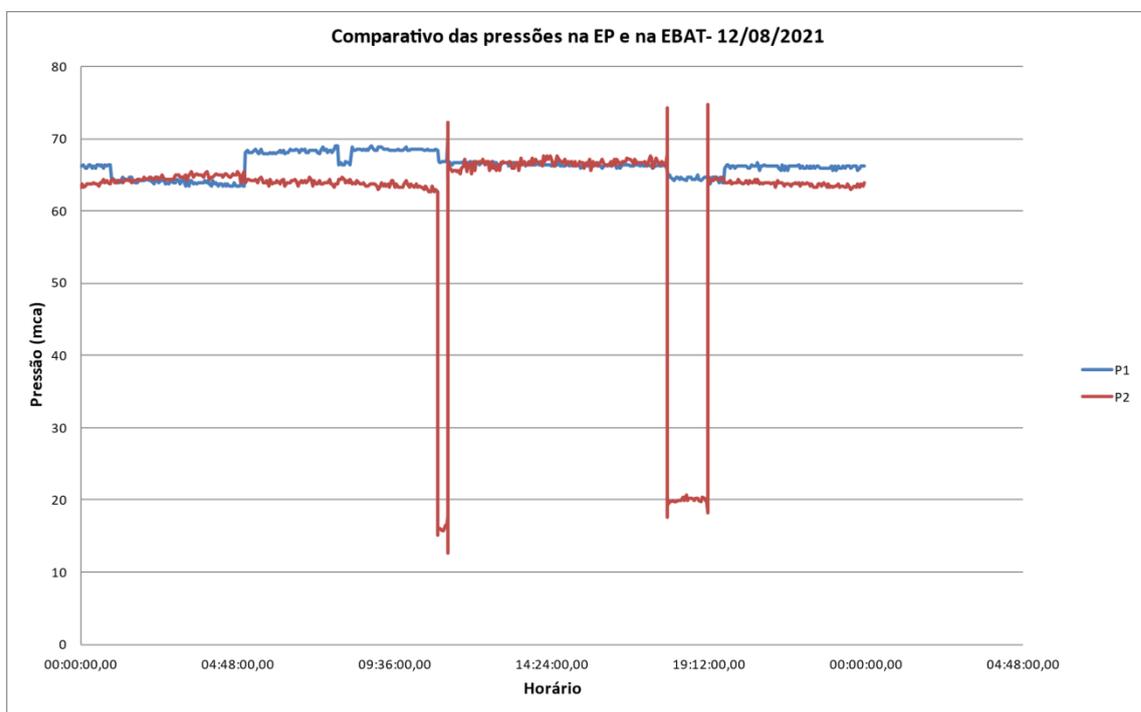


Figura 45: Gráfico do comparativo entre as pressões dentro da EBAT Cascatinha/RES Catumbi (P2) e na EP (P1) – 12/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Na figura 46, temos como exemplo o evento L3, quarta ocorrência de transiente no dia, onde se observa com detalhes a sua ocorrência.

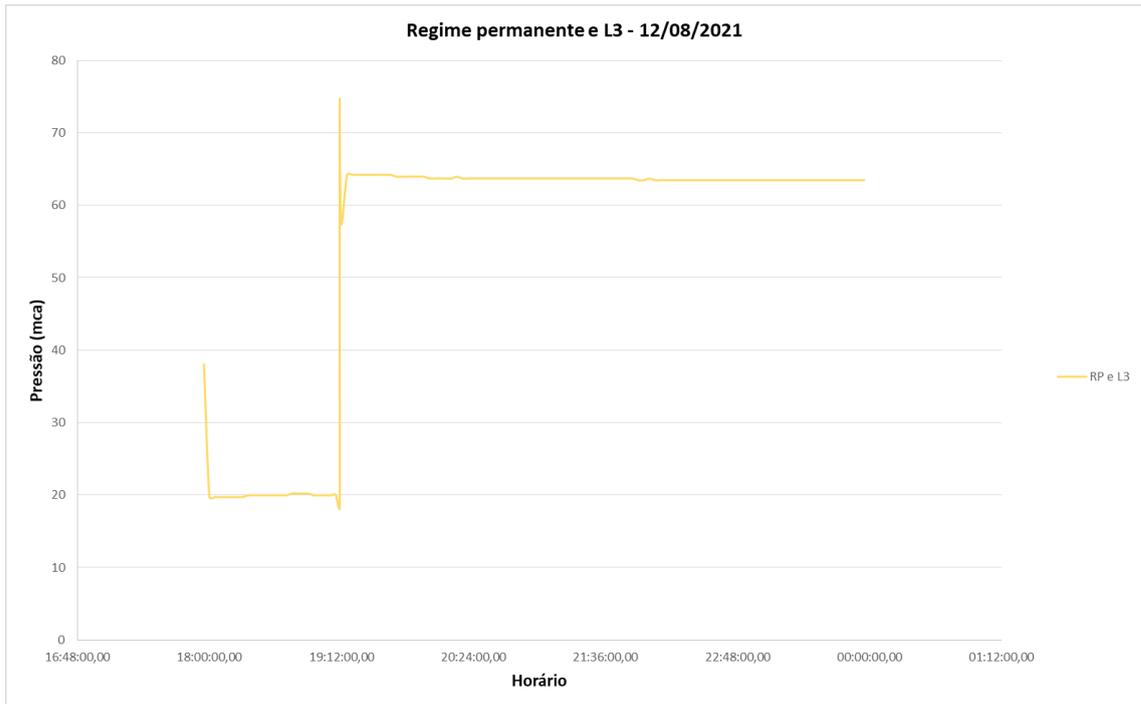


Figura 46: Gráfico da pressão em regime permanente e do transiente hidráulico L3 da EBAT Cascatinha/Catumbi – 12/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Comparando estes dados com os obtidos de funcionamento dos grupos, figura 49, verificamos que a causa, também, se dá devido ao acionamento e desligamento dos grupos.

Durante o dia o grupo 01 não foi ligado, o grupo 02 se manteve ligado e os grupos 3 e 4 foram ligados e desligados conforme a necessidade do bombeamento.

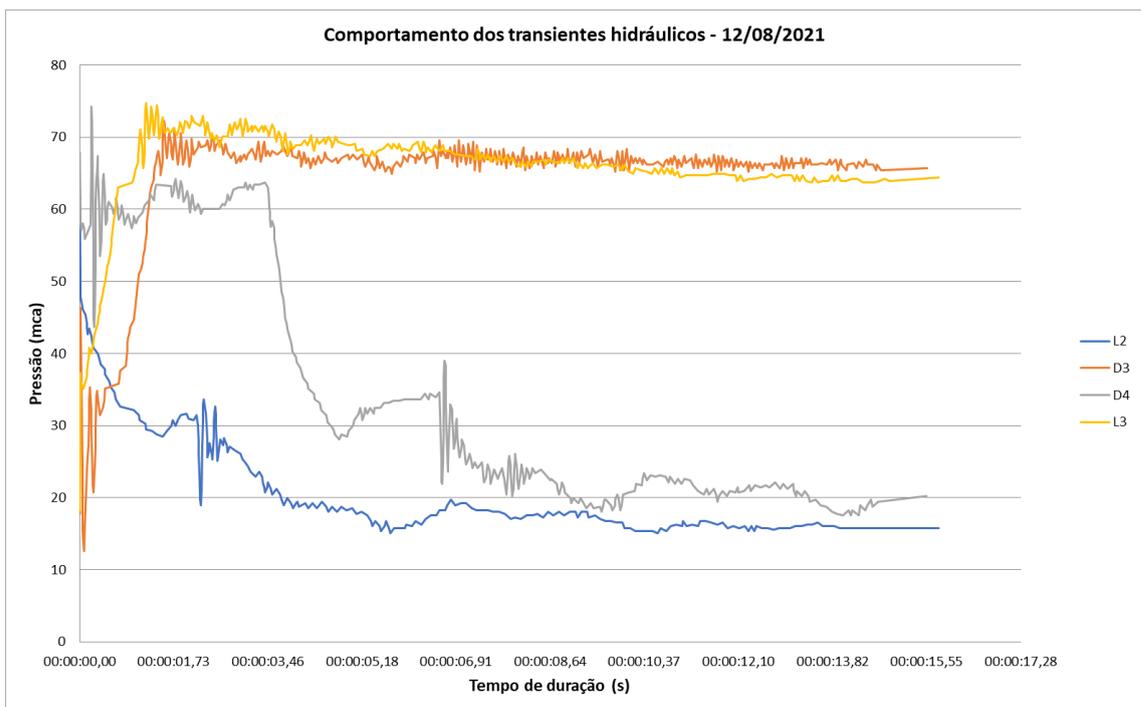


Figura 47: Gráfico dos transientes hidráulicos da EBAT Cascatinha/RES Catumbi – 12/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Tabela 12: Resumo das ocorrências dos transientes no dia 12/08/2021 – EBAT Cascatinha/RES Catumbi. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Evento	Horário de ocorrência	P permanente (mca)	P máx (mca)	P min (mca)	ΔH max	ΔH min	Tempo entre picos (s)	Tempo de duração do transiente (s)
1	10:54:11,25	62,243	62,243	15,078	1,767	48,932	00:00:01,50	00:00:15,77
2	11:13:26,09	16,585	72,263	12,634	55,678	3,951	00:00:01,50	00:00:15,56
3	17:56:00,81	66,409	74,218	17,522	7,809	48,887	00:00:01,50	00:00:15,55
4	19:11:01,51	20,660	74,707	18,255	54,047	2,405	00:00:01,50	00:00:15,77

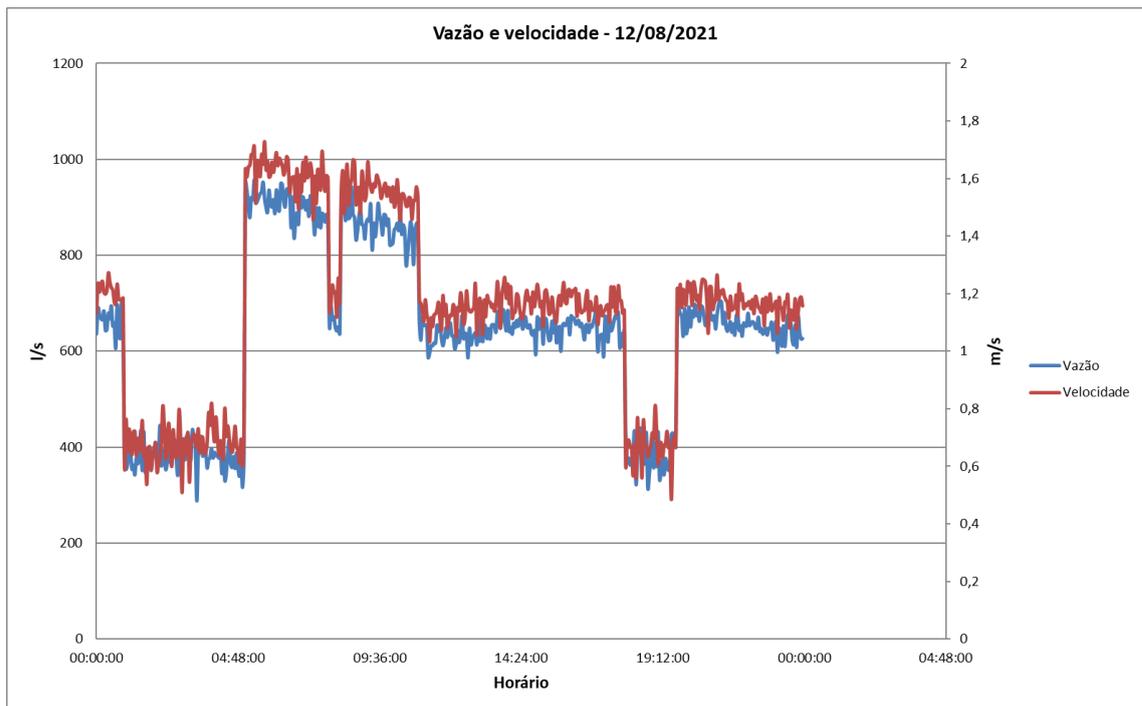


Figura 48: Gráfico da vazão e velocidade da EBAT Cascatinha/RES Catumbi – 12/08/2021. Fonte: DMAE.

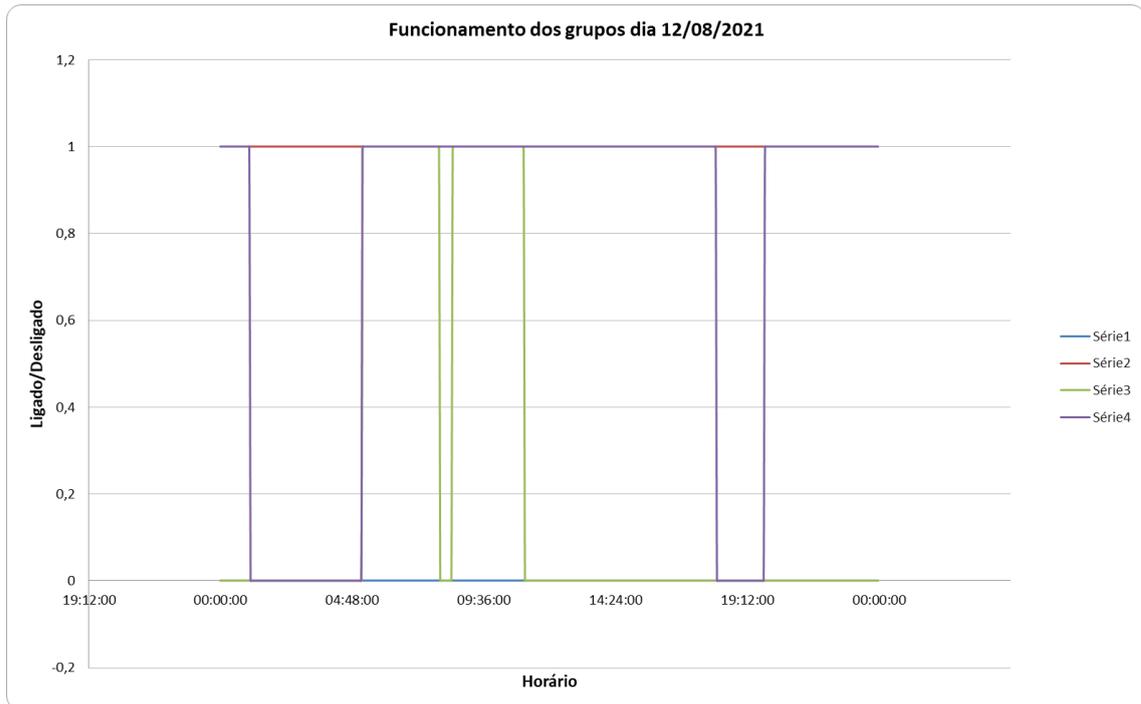


Figura 49: Gráfico dos grupos ligados (1) e desligados (0) da EBAT Cascatinha/RES Catumbi – 12/08/2021.
Fonte: DMAE.

No dia 19/08/2021, na figura 50, podemos identificar que as pressões de dentro da EBAT (P2) e na EP (P1) se comportam em determinados momentos do dia de forma similar outros totalmente diferente, evidenciando que a distância que se encontra a estação pitométrica da saída do bombeamento na estação elevatória não influencia na obtenção dos dados da pressão.

Isso se dá devido a posição da EP em relação a estação elevatória, pois não há desnível geométrico considerável entre elas. Também conforme a demanda do sistema a configuração de grupos em funcionamento, figura 54.

Às 06:38:00 ocorreu o desligamento do grupo 04, o que ocasionou a diminuição da vazão e da pressão na EP, igualando a pressão no recalque da EBAT.com a EP., pois estavam os grupos 02 e 04 ligados, o grupo 04 foi desligado, reduzindo a vazão, figura 53, e conseqüentemente a pressão na EP também foi reduzida, de 66,398 mca para 63,954, permanecendo apenas o grupo 02 ligado, igualando a pressão no recalque da EBAT.

Às 07:39:03,95 o grupo 04 foi desligado, acionando a válvula de retenção (VR) evitando, assim, o retorno do fluxo do fluido, ocasionando variações da pressão. Neste momento foi registrado o evento D1, observando-se uma variação da pressão máxima de 1,039 mca e variação mínima de 46,127 mca, em relação ao regime permanente. Após

amortecimento da oscilação de pressão, devido a aceleração da massa líquida, a pressão registrada foi de 20,21 mca. Às 08:40:12,36 foi registrado um novo evento de transiente hidráulico L1, que ocorreu devido ao acionamento dos grupos 03 e 04, simultaneamente, gerando um pico de depressão no início do evento de 16,789 mca e um pico de sobrepressão de 71,53 mca, com variação máxima de 51,453 mca e mínima de 3,288 mca. Ficando assim três grupos ligados, gerando aumento da vazão bombeada e aumento da pressão na EP.

Às 12:54:00 o grupo 03 foi desligado, fazendo com que a pressão na EP e na EBAT se igualem, devido ao consumo. Às 18:12:31,60 observa-se o evento D2, devido ao desligamento do grupo 04, ocorre um aumento da pressão no primeiro momento de 70,064 mca e logo diminuiu para 41,471 mca, gerando uma variação máxima de 4,224 mca e mínima de 24,369 mca, em relação ao regime permanente. Após amortecimento da oscilação de pressão, devido a aceleração da massa líquida, a pressão registrada foi de 62,243 mca.

Cabe salientar que o datalogger instalado na estação pitométrica não estava configurado para a leitura de transientes hidráulicos.

Conforme tabela 13, verificamos o momento do dia em que ocorreram os eventos de transientes hidráulicos, o comportamento da pressão durante cada evento, sua variação e sua duração.

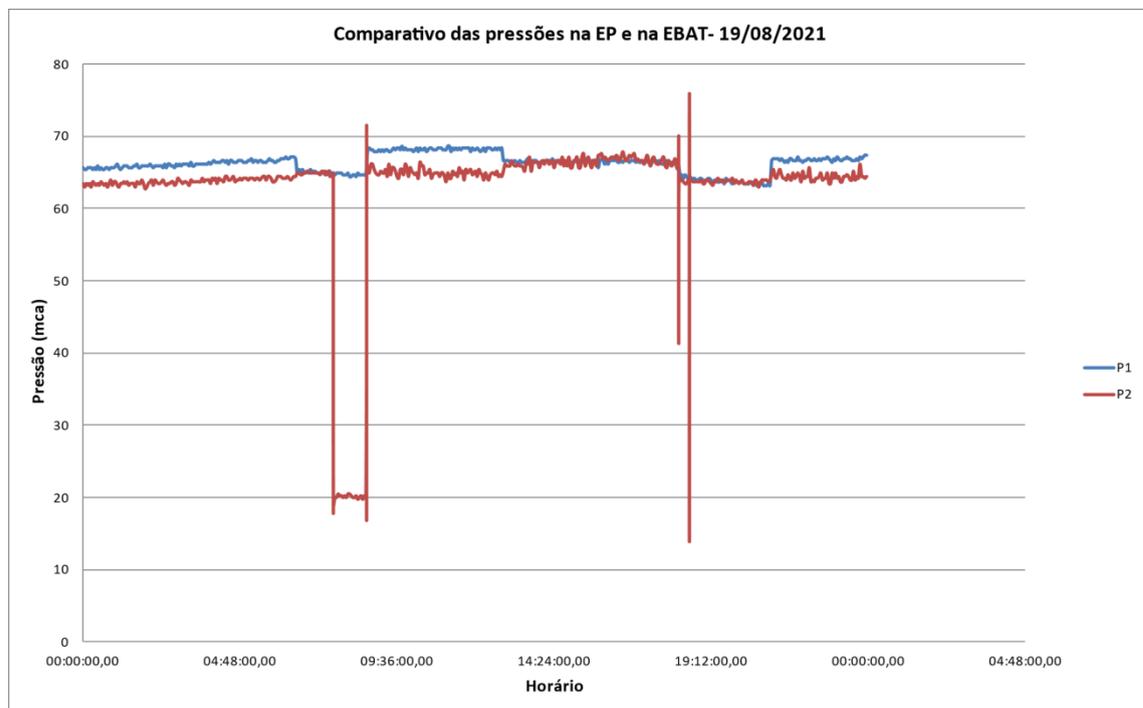


Figura 50: Gráfico do comparativo entre as pressões dentro da EBAT Cascatinha/RES Catumbi (P2) e na EP (P1) – 19/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Na figura 51, temos como exemplo o evento L1, sendo a segunda ocorrência de transiente no dia, onde se observa com detalhes a sua ocorrência. E na figura 52, observa-se todos os eventos que ocorreram neste dia.

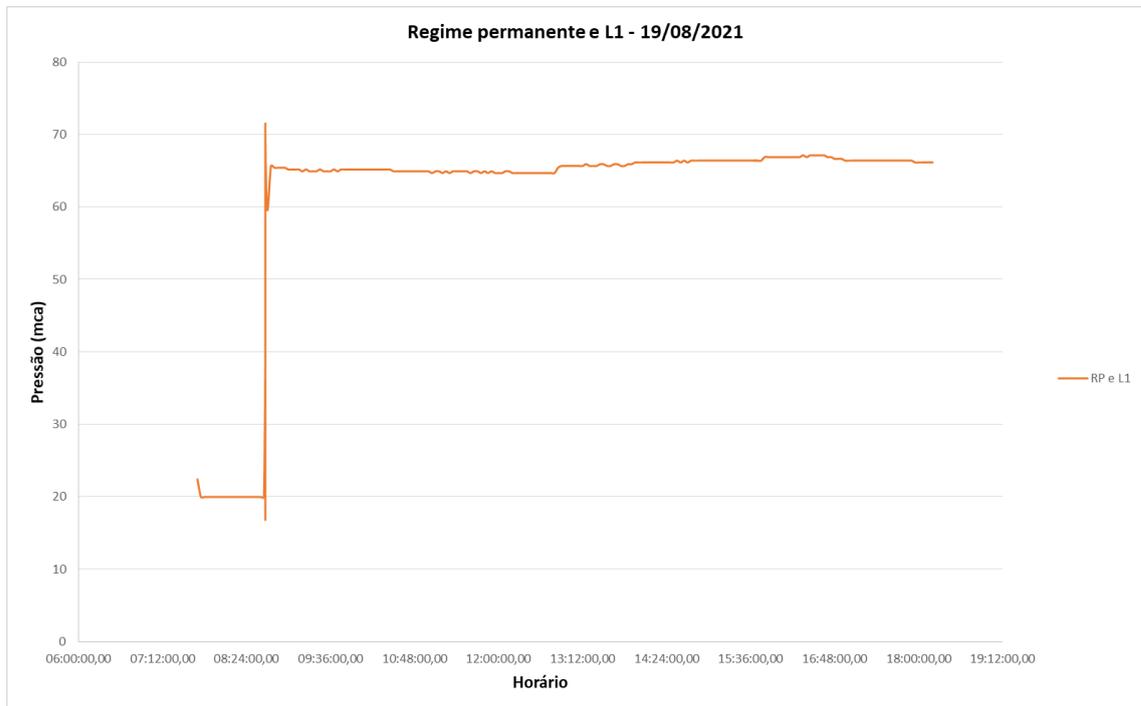


Figura 51: Gráfico da pressão em regime permanente e do transiente hidráulico L1 da EBAT Cascatinha/RES Catumbi – 19/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

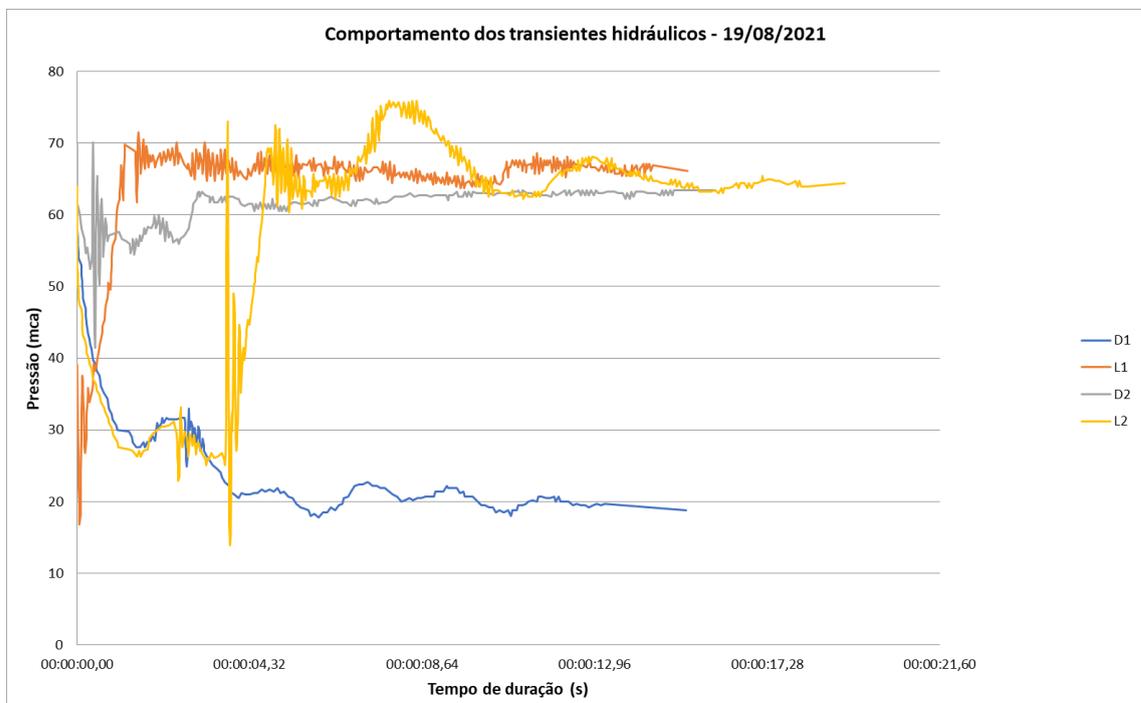


Figura 52: Gráfico dos transientes hidráulicos da EBAT Cascatinha/RES Catumbi –19/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Comparando estes dados da tabela 13 com os obtidos de funcionamento dos grupos, figura 44, verifica-se que a causa, também, se dá devido ao ligar e desligar dos grupos.

Durante o dia o grupo 01 não foi ligado, o grupo 02 se manteve ligado e os grupos 3 e 4 foram ligados e desligados conforme a necessidade do bombeamento.

Tabela 13: Resumo das ocorrências dos transientes no dia 19/08/2021 – EBAT Cascatinha/RES Catumbi. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Evento	Horário de ocorrência	P permanente (mca)	P máx (mca)	P min (mca)	ΔH max	ΔH min	Período (s)	Tempo de duração do transiente (s)
1	07:39:03,95	63,893	64,932	17,766	1,039	46,127	00:00:01,50	00:00:15,26
2	08:40:12,36	20,077	71,530	16,789	51,453	3,288	00:00:01,50	00:00:15,29
3	18:12:31,60	65,840	70,064	41,471	4,224	24,369	00:00:01,50	00:00:15,99
4	18:32:14,78	63,745	75,929	13,856	12,184	49,889	00:00:01,50	00:00:19,22

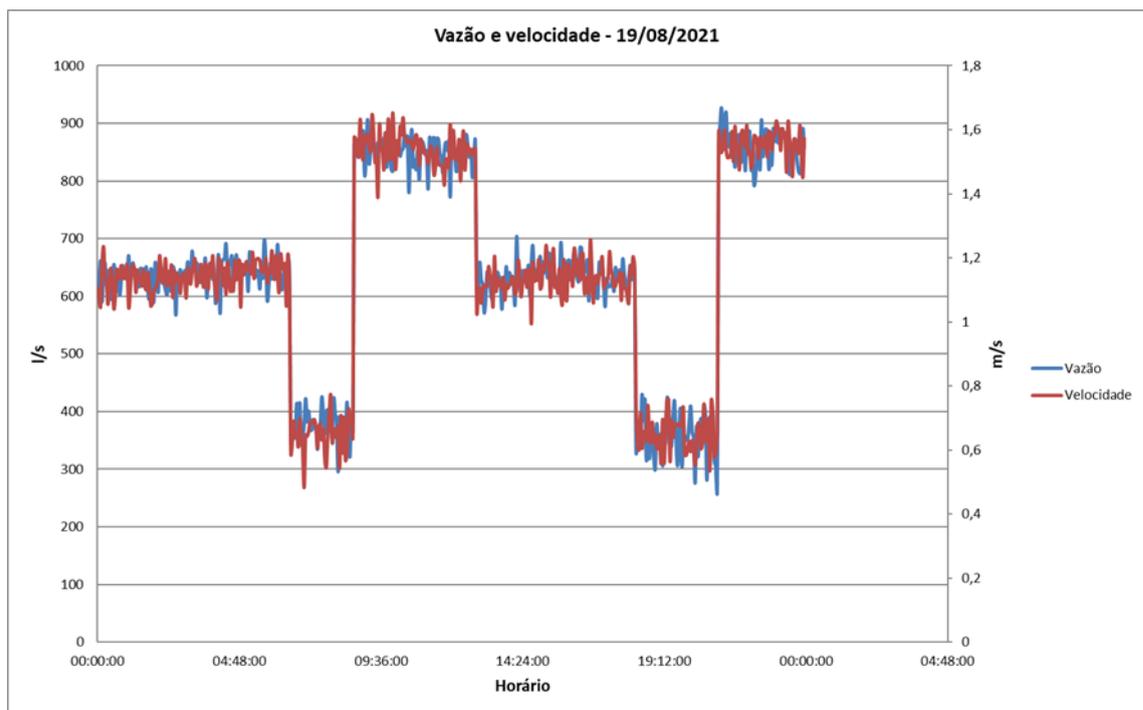


Figura 53: Gráfico da vazão e velocidade da EBAT Cascatinha/RES Catumbi – 19/08/2021. Fonte: DMAE.

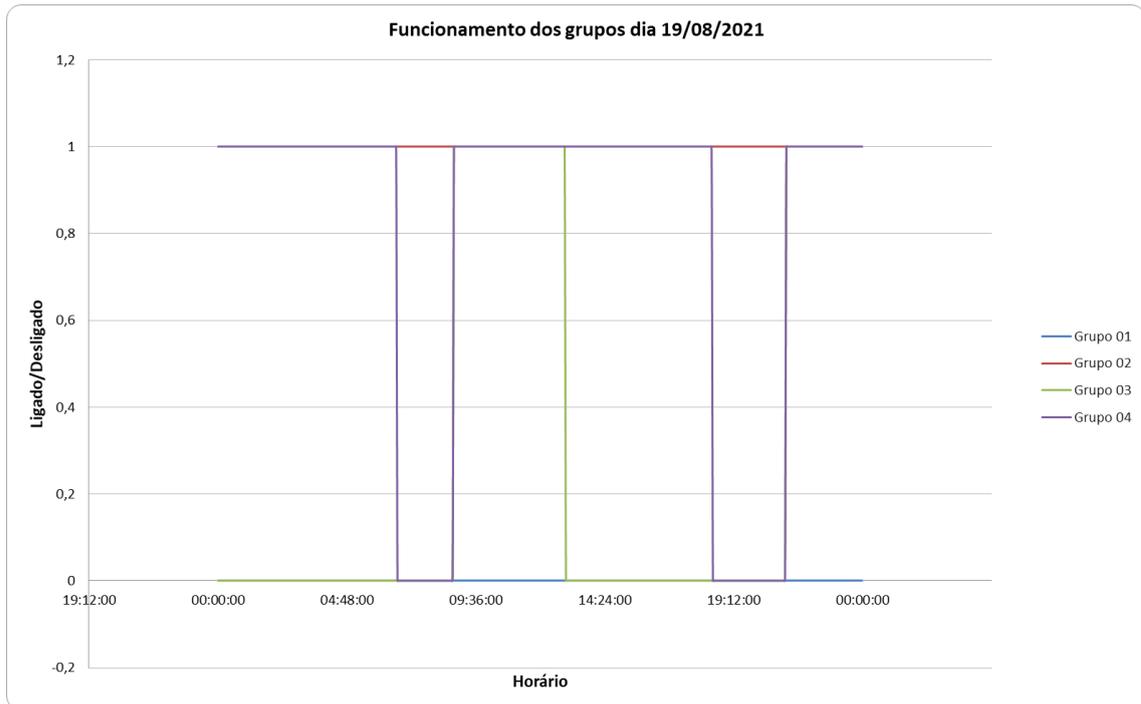


Figura 54: Gráfico dos grupos ligados (1) e desligados (0) da EBAT Cascatinha/RES Catumbi – 19/08/2021.
Fonte: DMAE.

Como dito anteriormente, para fins de análise dos dados obtidos, iremos realizar o cálculo da sobrepressão/subpressão, de forma simplificada, utilizando a equação de Joukowski e verificar, através de comparação, se o obtido na prática está dentro do aceitável.

Obtemos informações de fabricantes para espessura da parede da tubulação e diâmetro interno. Com isso, o valor da celeridade (2) para o tubo de aço carbono com ou sem costura é de 1014 m/s.

O valor da velocidade média é obtido através da instrumentação na estação pitométrica, realizando a média dos valores obtidos durante o período de coleta.

A velocidade média é 1,15 m/s e a aceleração da gravidade 9,8 m/s², obtemos, assim, o valor da sobrepressão/subpressão devido ao golpe de aríete, $\Delta H_{\text{máx}}$ de 118,62 m para tubo de aço carbono.

Sendo a pressão máxima, para o tubo aço, igual a pressão em regime permanente de 63 mca mais a sobrepressão calculada de 118,62 m resulta em 181,62 m

A pressão mínima resulta na diferença da pressão em regime permanente de 63 mca com o $\Delta H_{\text{máx}}$ calculado, resultando em -55,62 m. Na condição de pressão mínima negativa, tem-se $P_{\text{abs}} = 10,33 + (-34,62) = -24,29$ m, abaixo da pressão de vapor. Se o instrumentado tivesse atingido à pressão de vapor seriam necessárias medidas corretivas e preventivas.

Podemos observar que os valores máximos obtidos com a instrumentação foram menores que os calculados e as pressões mínimas maiores que as calculadas. Não foram observadas pressões negativas durante o período.

Nesta elevatória o dispositivo de proteção é composto por válvula de retenção responsável pelas menores variações de pressão quando da ocorrência do transiente.

4.3. EBAT Cascatinha e Res. Caieira

Foram selecionados os dias 08/08/2021, 09/08/2021 e 10/08/2021 para a análise das pressões e das perturbações no bombeamento, identificadas nos gráficos. Os gráficos dos outros dias, que não estão exemplificados neste capítulo, estão no Anexo H.

Na tubulação de recalque para o reservatório Caieira existe um reservatório hidropneumático, mas que não está em operação.

Na figura 55, observa-se, comparando com a figura 58, que ocorreu um aumento da vazão e da pressão, quando o grupo 03 foi ligado, com a pressão da EBAT ficando maior que a da EP, indicando um consumo mais elevado.

Às 18:04:19,77 ocorreu o evento de transiente E1, primeira ocorrência de transiente no dia, como na figura 57, se observa que a vazão diminui neste instante, mas não ocorreu desligamento de nenhum grupo conforme figura 59. Na figura 60, ocorre uma variação da amperagem dos grupos 02 e 03, não sendo possível, no momento, estipular uma causa para esse evento.

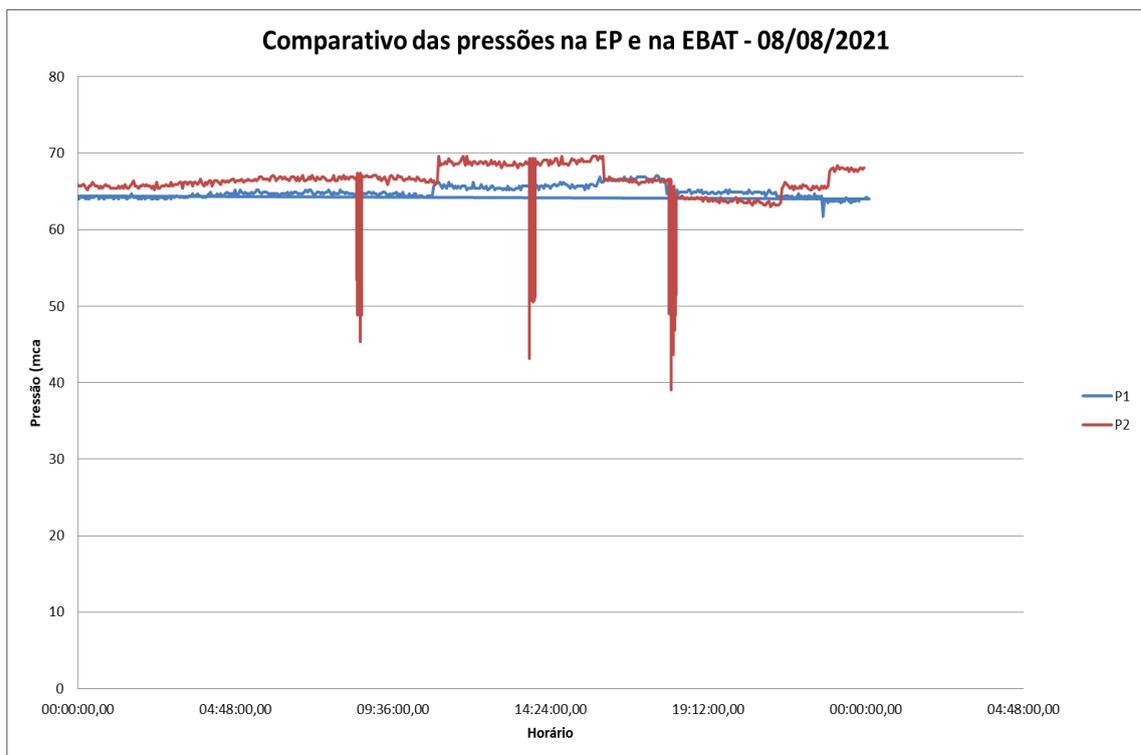


Figura 55: Gráfico do comparativo entre as pressões dentro da EBAT Cascatinha/RES Caieira (P2) e na EP (P1) – 08/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Na figura 56, temos como exemplo o evento E1, sendo a primeira ocorrência de transiente no dia, onde se observa com detalhes a sua ocorrência. E na figura 57 e tabela 14, observa-se todos os eventos que ocorreram neste dia.

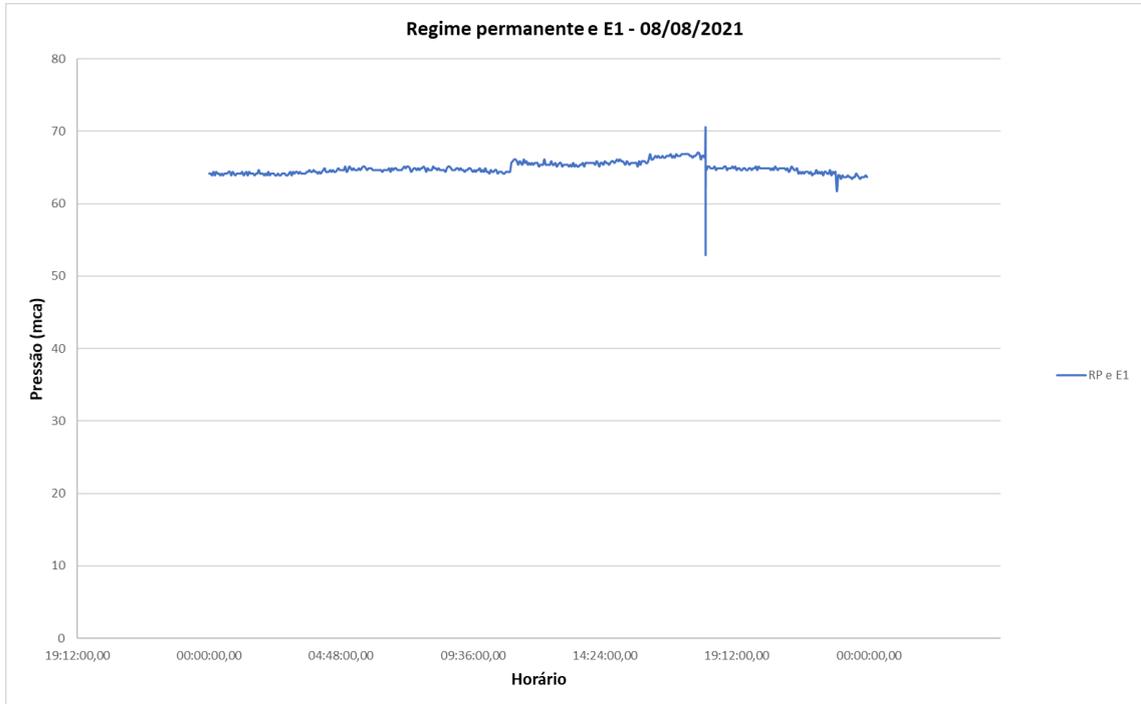


Figura 56: Gráfico da pressão em regime permanente e do transiente hidráulico E1 da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 08/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

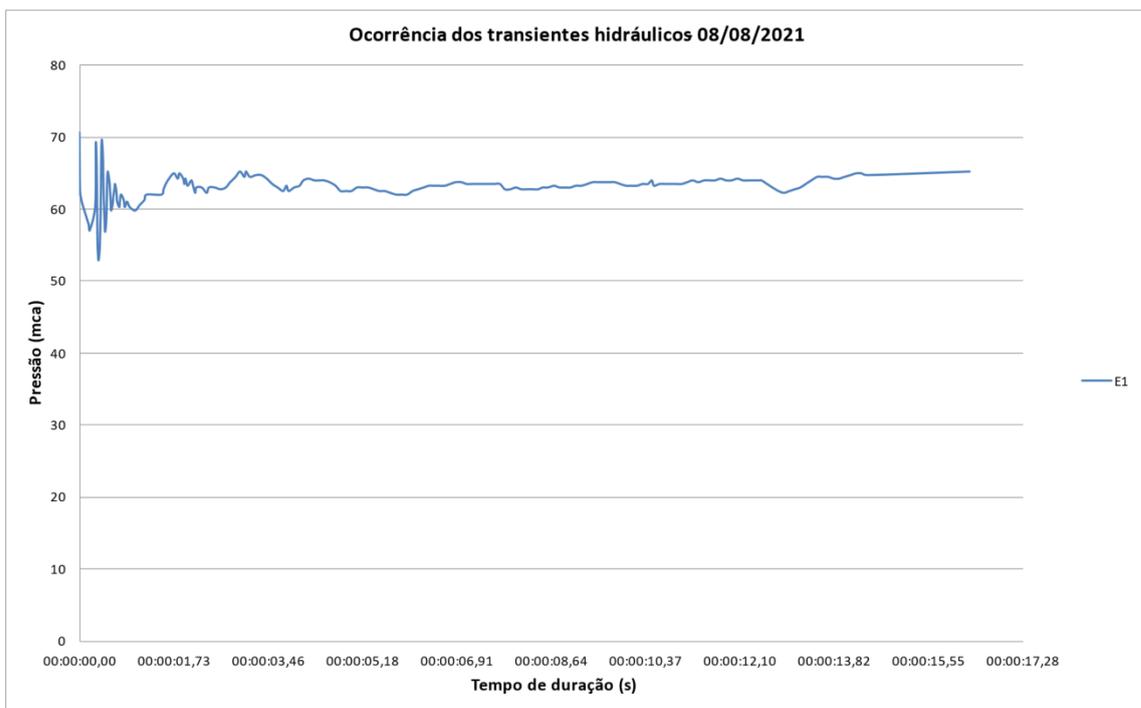


Figura 57: Gráfico dos transientes hidráulicos da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 08/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Tabela 14: Resumo das ocorrências dos transientes no dia 08/08/2021 – EBAT Cascatinha/RES Caieira. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Evento	Horário de ocorrência	P permanente (mca)	P máx (mca)	P min (mca)	ΔH max	ΔH min	Período (s)	Tempo de duração do transiente (s)
1	18:04:19,77	64,960	70,552	52,957	5,592	12,003	00:00:01,50	00:00:16,30

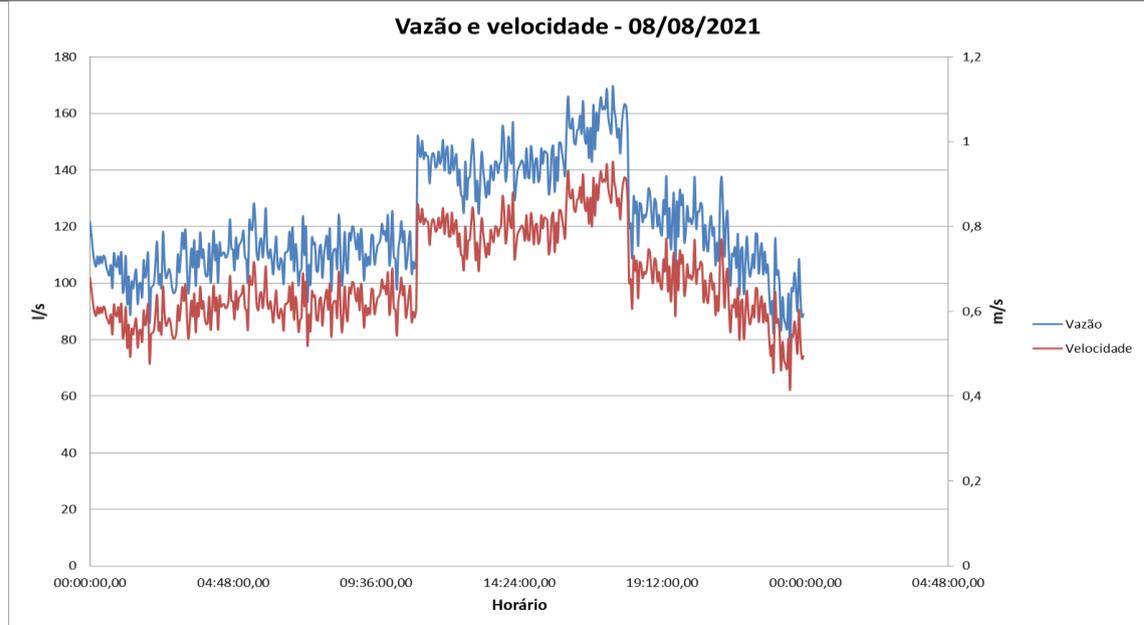


Figura 58: Gráfico da vazão e velocidade da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 08/08/2021. Fonte: DMAE.

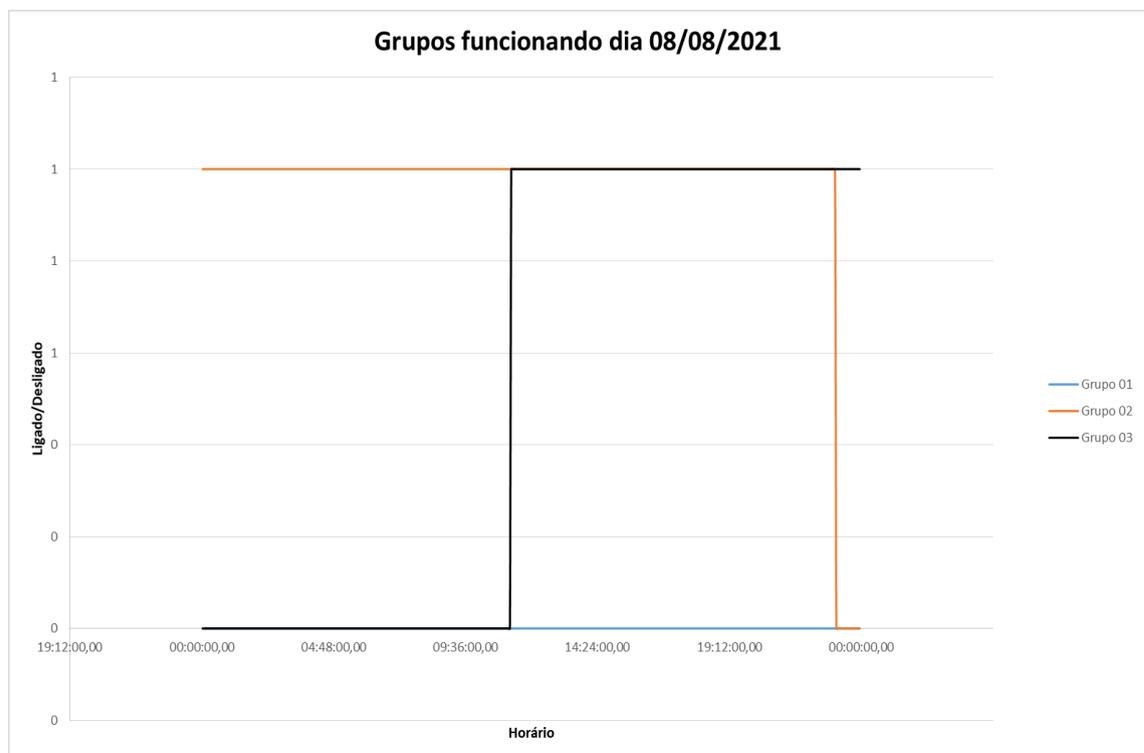


Figura 59: Gráfico dos grupos ligados (1) e desligados (0) da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 08/08/2021. Fonte: DMAE.

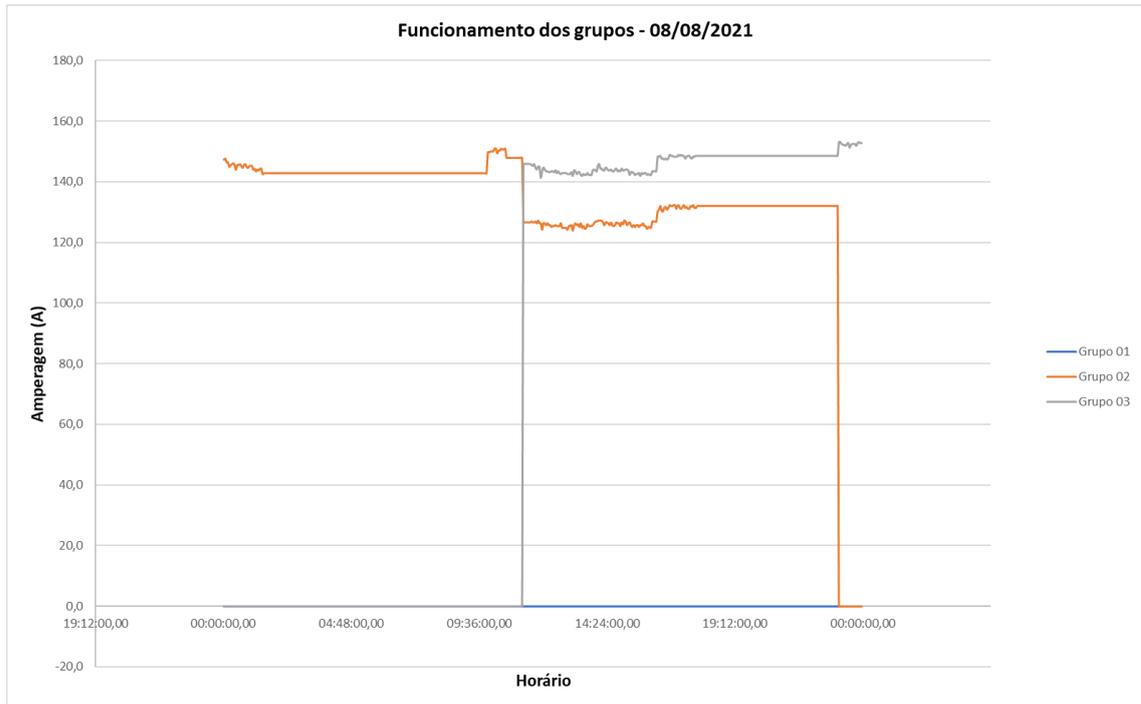


Figura 60: Gráfico dos grupos ligados e desligados (A) da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 08/08/2021. Fonte: DMAE.

No dia 09/08/2021, se observa na figura 61, que no acionamento do grupo 02, figura 65, ocorreu um aumento da pressão no recalque da EBAT e da vazão, em relação à pressão na EP.

Às 17:57:50,78 ocorreu o evento de transiente D1, primeira ocorrência de transiente no dia, figura 63, se observa que a vazão diminui a zero neste instante, devido ao desligamento dos três grupos, conforme figura 64. No início do evento ocorreu um pico de pressão máxima de 85,704 mca e logo em seguida um pico de pressão mínima de 25,831 mca, com uma variação máxima de 20,485 mca e mínima de 39,388 mca, em relação ao regime permanente. As oscilações de pressão ocorrem devido ao choque com a válvula de retenção (VR) que é acionada no momento do desligamento do grupo, evitando o retorno do fluxo do fluido. Após o amortecimento da oscilação de pressão, devido a aceleração da massa líquida, a pressão registrada foi de 64,198 mca.

Os grupos se mantiveram desligados até às 20:18:51,16 quando ocorreu o evento L1, devido ao acionamento dos grupos 02 e 03. Apresentando um pico de pressão mínima de 64,932 mca e pico de pressão máxima de 73,729 mca, com variação de pressão máxima de 8,913 mca e 0,116 mca.

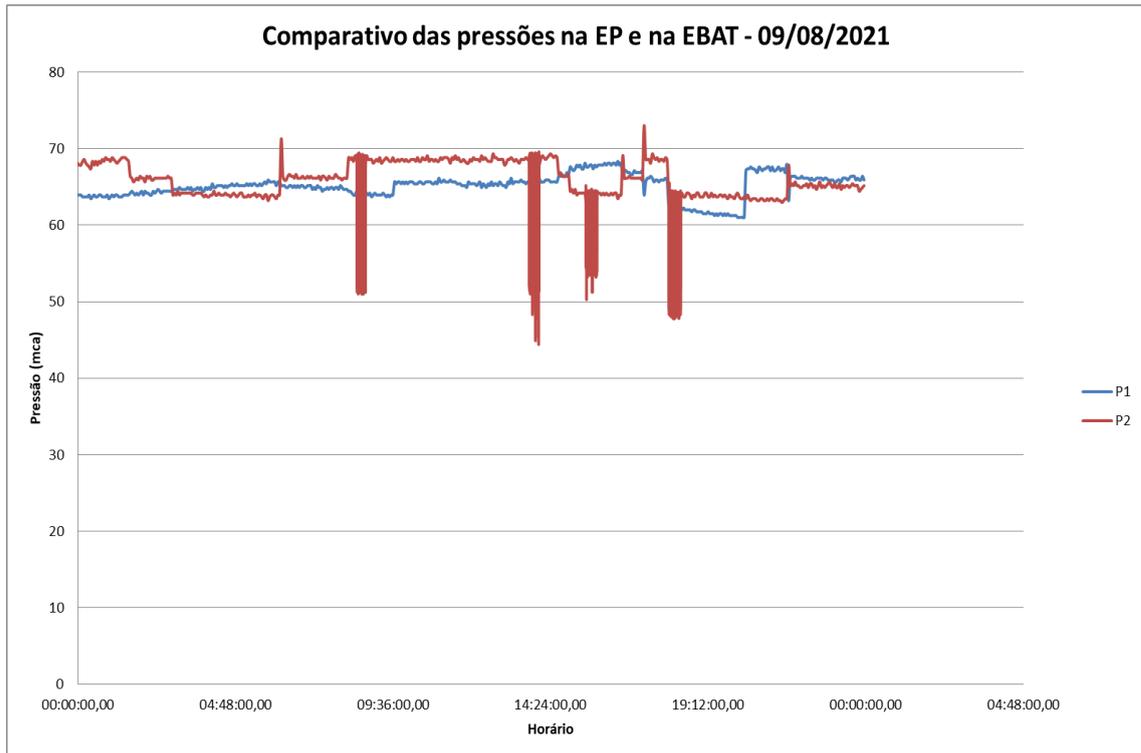


Figura 61: Gráfico do comparativo entre as pressões dentro da EBAT Cascatinha/RES Caieira (P2) e na EP (P1) – 09/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Na figura 62, temos como exemplo o evento D1, sendo a primeira ocorrência de transiente no dia, onde se observa com detalhes a sua ocorrência.

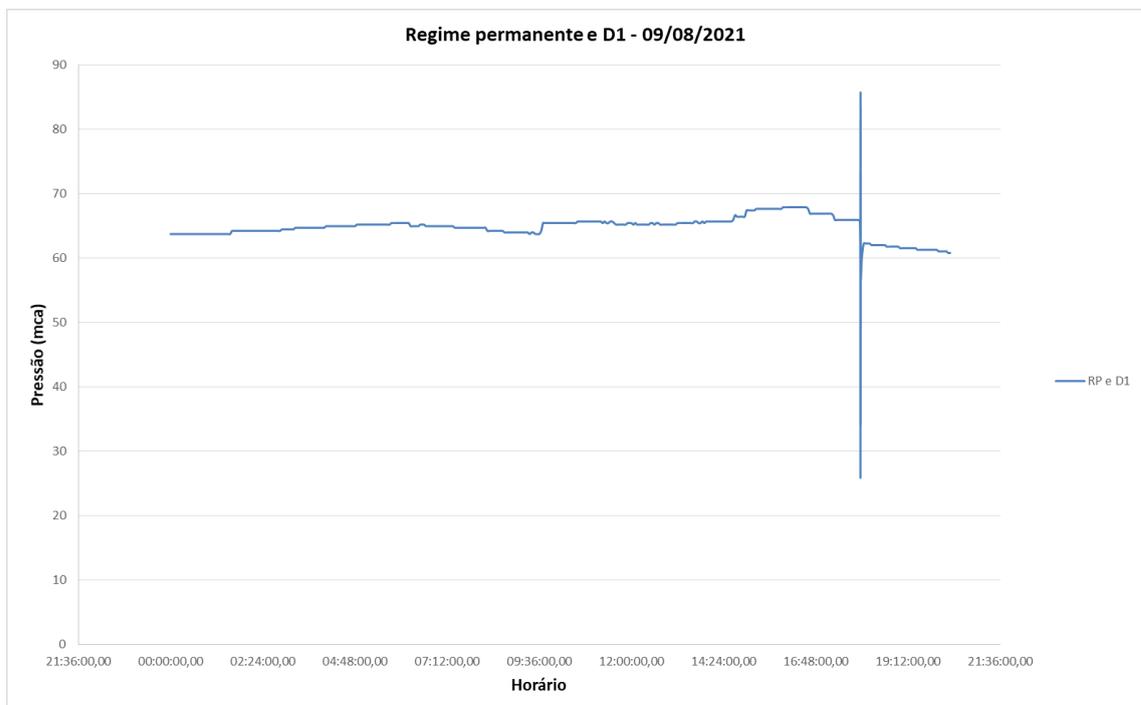


Figura 62: Gráfico da pressão em regime permanente e do transiente hidráulico D1 da EBAT Cascatinha/RES Caieira –09/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Na tabela 15 se observa com detalhes todos os eventos neste dia como o tempo de duração, variação máxima e mínima.

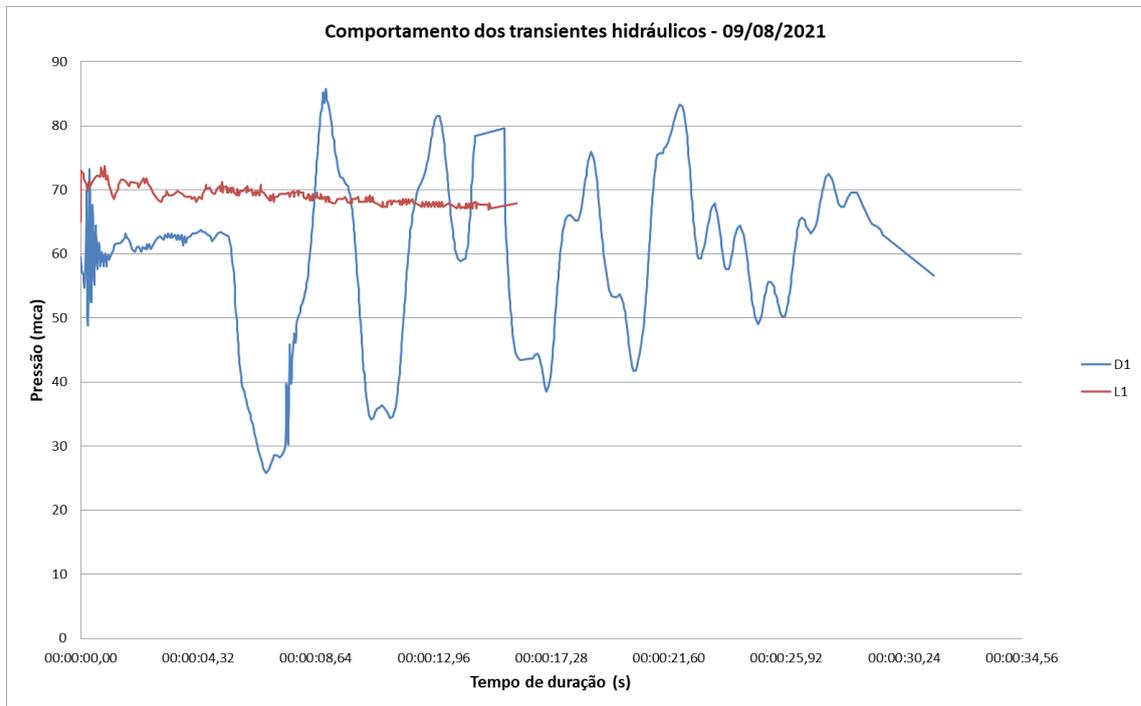


Figura 63: Gráfico dos transientes hidráulicos da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 09/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Tabela 15: Resumo das ocorrências dos transientes no dia 09/08/2021 – EBAT Cascatinha/RES Caieira. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Evento	Horário de ocorrência	P permanente (mca)	P máx (mca)	P min (mca)	ΔH max	ΔH min	Período (s)	Tempo de duração do transiente (s)
1	17:57:50,78	65,219	85,704	25,831	20,485	39,388	0:00:03,00	00:00:31,34
2	20:18:51,16	64,816	73,729	64,932	8,913	0,116	0:00:01,50	00:00:16,01

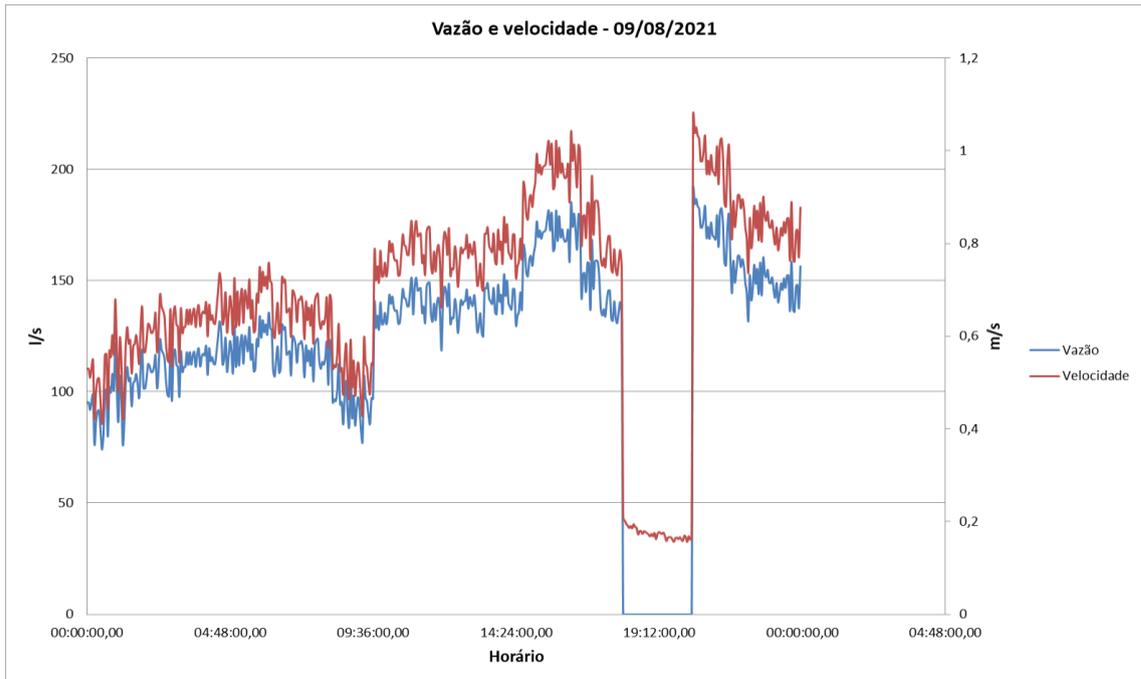


Figura 64: Gráfico da vazão e velocidade da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 09/08/2021. Fonte: DMAE.

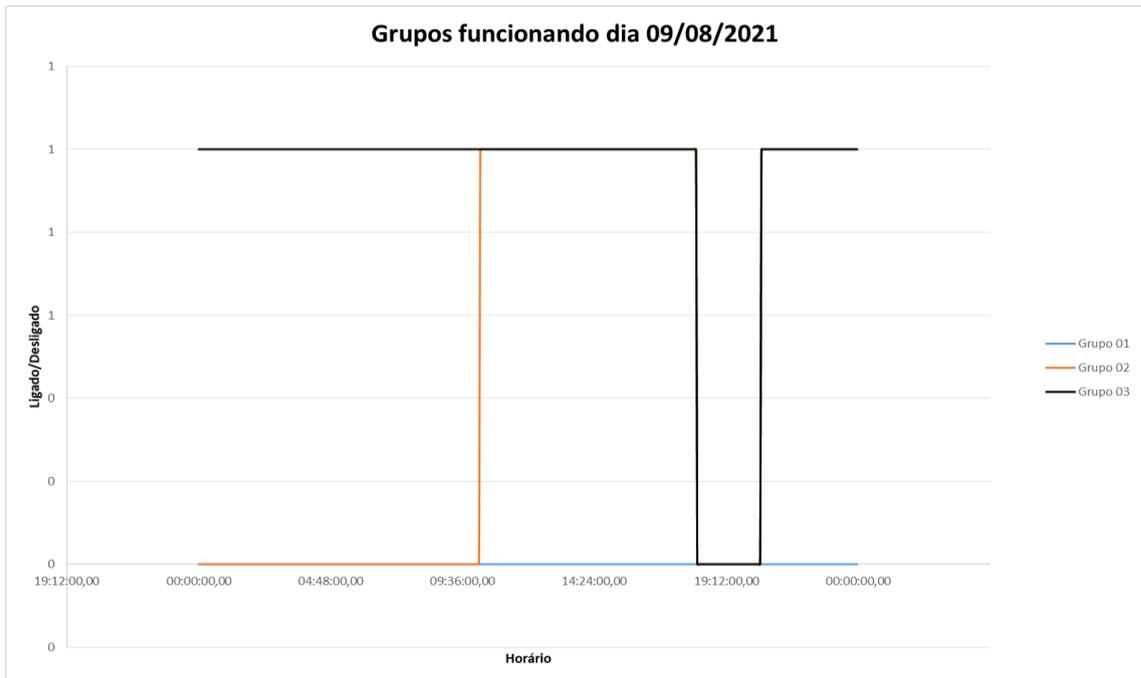


Figura 65: Gráfico dos grupos ligados (1) e desligados (0) da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 09/08/2021. Fonte: DMAE.

No dia 10/08/2021, na figura 66, podemos identificar que as pressões de dentro da EBAT (P2) e na EP (P1) se comportam em determinados momentos do dia de forma similar, evidenciando que a distância que se encontra a estação pitométrica da saída do bombeamento na estação elevatória não influencia na obtenção dos dados da pressão.

Isso se dá devido a posição da EP em relação a estação elevatória, pois não há desnível geométrico considerável entre elas. Também conforme a demanda do sistema a configuração de grupos em funcionamento, figura 69.

Às 00:28:01,42 ocorreu o desligamento do grupo 02, o que ocasionou a diminuição da vazão, figura 68, e da pressão na EP, igualando a pressão no recalque da EBAT com a EP, permanecendo apenas o grupo 03 ligado. Neste momento ocorreu o evento D1, primeira ocorrência de transiente no dia, com a pressão máxima registrada de 69,819 mca e mínima de 49,191, com uma variação máxima de 3,446 mca e mínima de 17,082 mca, em relação ao regime permanente. Com o desligamento ocorre o acionamento da válvula de retenção (VR), evitando que o fluido retorne para a bomba.

As 10:19:00 ocorreu o acionamento do grupo 02, ocasionando o aumento da vazão, figura 35, e pressão para 69,575 mca na EBAT, não sendo registrado transiente hidráulico pelo datalogger. As 12:57:00 ocorreu o desligamento do grupo 02, sendo registrado transiente hidráulico pelo datalogger.

Às 17:52:45,10 o grupo 03 foi desligado, com o acionamento da válvula de retenção (VR), que impede o retorno do fluxo do fluido, ocorreram oscilações de pressão. A pressão máxima registrada no momento do desligamento foi 89,614 mca e mínima de 32,185 mca, com variação máxima de 24,903 mca e mínima de 32,526 mca, em relação ao regime permanente. Após o amortecimento da oscilação de pressão, devido a aceleração da massa líquida, a pressão registrada foi de 62,732 mca.

Às 19:06:17,82 o grupo 03 foi ligado, se observa um aumento da pressão no tubo, figura 35, e aumento da pressão que atingiu o pico máximo de 75,44 mca e mínimo de 63,954 mca, representando uma variação de pressão máxima de 13,470 mca e mínima de 1,984 mca, em relação ao regime permanente.

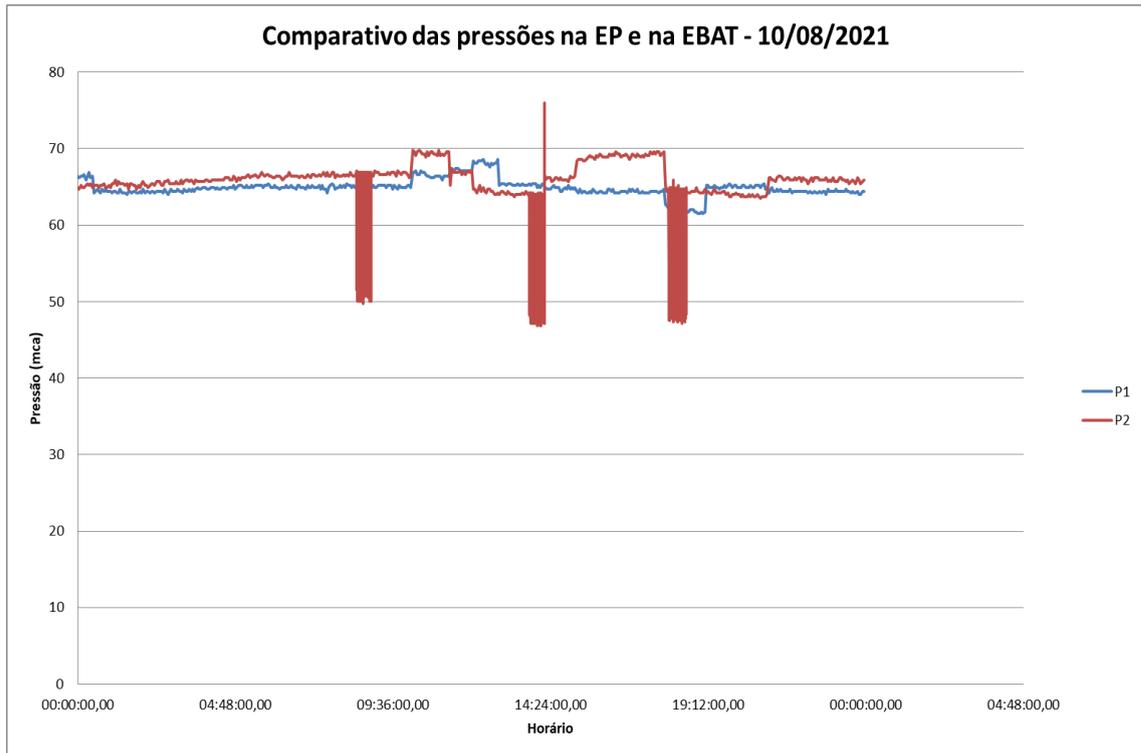


Figura 66: Gráfico do comparativo entre as pressões dentro da EBAT Cascatinha/RES Caieira (P2) e na EP (P1) – 10/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Na figura 67, temos como exemplo o evento D1, onde se observa com detalhes a sua ocorrência.

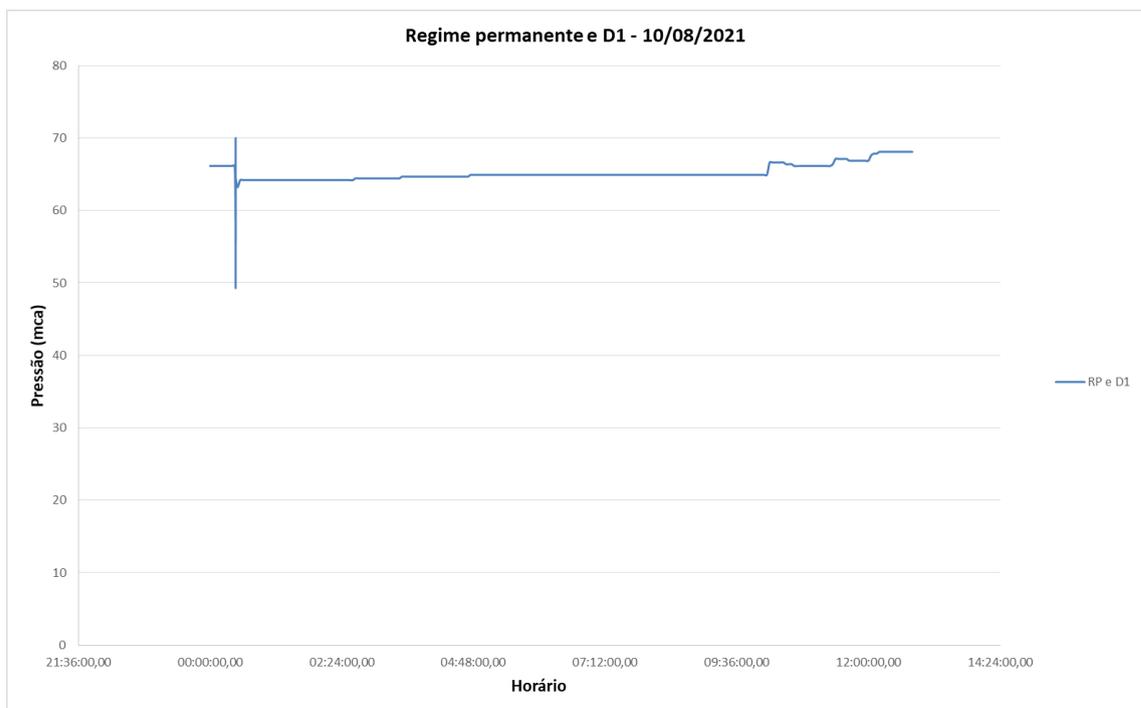


Figura 67: Gráfico da pressão em regime permanente e do transiente hidráulico D1 da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 09/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Na tabela 16 se observa com detalhes todos os eventos neste dia como o tempo de duração, variação máxima e mínima.

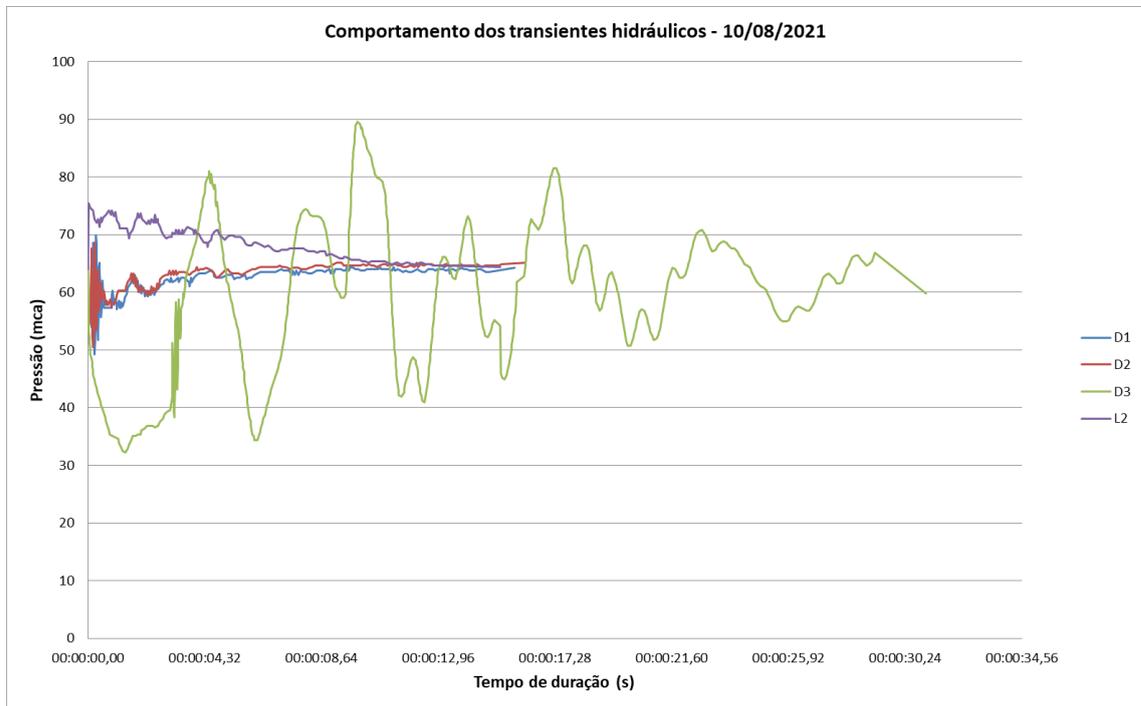


Figura 68: Gráfico dos transientes hidráulicos da EBAT Cascatinha/RES Caieira –10/08/2021. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Tabela 16: Resumo das ocorrências dos transientes no dia 10/08/2021 – EBAT Cascatinha/RES Caieira. Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DMAE.

Evento	Horário de ocorrência	P permanente (mca)	P máx (mca)	P min (mca)	ΔH max	ΔH min	Período (s)	Tempo de duração do transiente (s)
1	00:28:01,42	66,373	69,819	49,291	3,446	17,082	00:00:02,00	00:00:15,79
2	12:49:35,13	65,317	68,597	50,513	3,280	14,804	00:00:01,50	00:00:16,15
3	17:52:45,10	64,711	89,614	32,185	24,903	32,526	00:00:02,00	00:00:31,03
4	19:06:17,82	61,970	75,440	63,954	13,470	1,984	00:00:01,50	00:00:15,26

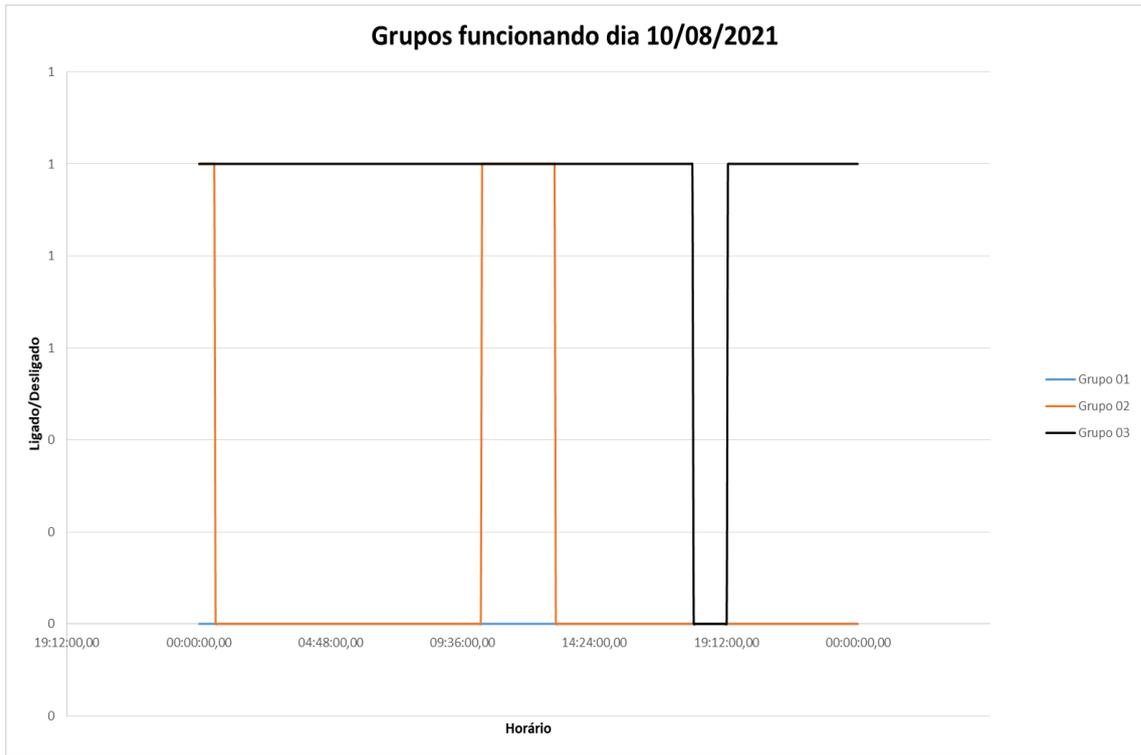


Figura 69: Gráfico dos grupos ligados (1) e desligados (0) da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 10/08/2021. Fonte: DMAE.

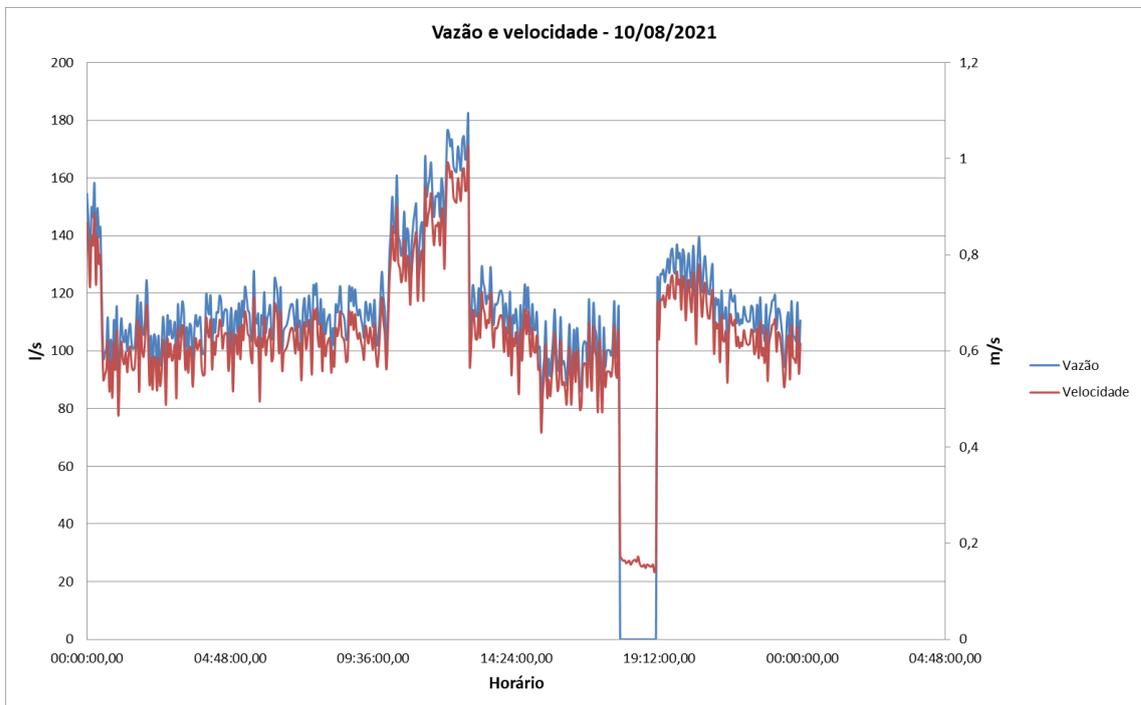


Figura 70: Gráfico da vazão e velocidade da EBAT Cascatinha/RES Caieira – 10/08/2021. Fonte: DMAE.

Para fins de análise dos dados obtidos, iremos realizar o cálculo da sobrepressão, de forma simplificada, utilizando a equação de Joukowski (5), e verificar, através de comparação, se o obtido na prática está dentro do aceitável.

Como não possuímos todas as informações técnicas necessárias para o cálculo da celeridade, foi necessário pressupor algumas variáveis como o tipo da tubulação, e, com isso, obter informações de fabricantes para espessura da parede da tubulação e diâmetro interno.

Com isso, o valor da celeridade (1) para a classe k7 é de 886,45 m/s e para a classe k9 de 953,78 m/s.

O valor da velocidade média é obtido através da instrumentação na estação pitométrica, realizando a média dos valores obtidos durante o período de coleta. A velocidade média é 0,69 m/s e a aceleração da gravidade 9,8 m/s², obtemos, assim, o valor da sobrepressão/subpressão é igual a $\Delta H_{\text{máx}}$ de 62,4 m para tubo de classe k7 e de 67,15 m para tudo de classe k9.

Sendo a pressão máxima, para o tubo aço, igual a pressão em regime permanente de 65 mca mais a sobrepressão calculada de 62,4 m resulta em 127,4 m, para tubo classe k7, e 132,15 m para tubo classe k9.

A pressão mínima resulta na diferença da pressão em regime permanente de 65 mca com o $\Delta H_{\text{máx}}$ calculado, resultando em 2,6 m, para tubo classe k7 e -2,15 m para o de classe k9.

Na condição de pressão mínima, tem-se $P_{abs} = 10,33 + (18,42) = 28,75$ m, para tubo k7 e -24 m, para tubo k9. Conforme podemos observar, os valores máximos obtidos através da instrumentação foram menores do que o calculado e os valores mínimos de pressão obtidos foram maiores que o calculado.

Nesta elevatória o dispositivo de proteção é composto por válvula de retenção responsável pelas menores variações de pressão quando da ocorrência do transiente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente capítulo serão interpretados os resultados obtidos no decorrer do trabalho com a análise e comparação dos dados. Respondendo à pergunta principal, o que podemos obter com a instrumentação em sistema de recalque em estação elevatória de água tratada.

A instrumentação é uma das formas utilizadas para se obter parâmetros e dados reais de determinado sistema. Para este trabalho, foram selecionadas duas estações elevatórias da cidade de Porto Alegre, que são administradas e operadas pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE), onde foram instalados dataloggers em três tubulações de recalque. As elevatórias são: EBAT Cascatinha para RES Catumbi, EBAT Cascatinha para RES Caieira e EBAT Oscar Pereira para RES Primeiro de Maio, todas pertencem ao sistema Menino Deus.

O DMAE já fazia uso de medidores de pressão e vazão em suas tubulações de sucção e recalque, os mais utilizados são manômetros e dataloggers. Com isto, se realizou medições de 01 até 23 de agosto de 2021, nas tubulações de recalque das elevatórias supracitadas, na estação pitométrica (EP) e dentro da EBAT, junto aos manômetros, com o objetivo de analisar os dados obtidos, seu comportamento e compará-los com o esperado em teoria.

Os dados obtidos da EBAT Oscar Pereira e RES Primeiro de Maio, pode-se observar que a variação da pressão nos dois pontos medidos, se deu devido ao desnível geométrico. Os transientes hidráulicos, registrados pelo datalogger, foram ocasionados por consequência ao acionamento e desligamento dos grupos motor/bomba. E conforme o obtido com a equação de Joukowski, verificamos que as pressões máximas medidas na tubulação de recalque são muito inferiores do que as calculadas e as pressões mínimas são superiores que as calculadas.

Já para a EBAT Cascatinha e RES Catumbi, se observou que a estação elevatória opera sempre com um grupo motor/bomba ligado, dois trabalham de forma alternada durante o dia e um de reserva desligado. A escolha da combinação dos grupos, que são acionados, varia conforme a vazão necessária no sistema e nível do reservatório, se sabe que em alguns momentos do dia o consumo de água é mais elevado, influenciando, também, na escolha da operação dos GMB. Nesta elevatória os transientes observados, também, são ocasionados pelo acionamento e desligamento dos grupos.

Na EBAT Cascatinha e RES Caieira, também, se faz uso do arranjo de manter um grupo de reserva e dois operando, conforme o nível do reservatório e demanda do sistema. Com dois grupos ligados, ao mesmo tempo, se aumenta a vazão, normalmente devido ao

horário de maior consumo. Nesta elevatória os transientes observados, também, são ocasionados pelo acionamento e desligamento dos grupos. Para ambas as tubulações de recalque da EBAT Cascatinha, se observou, que os valores obtidos através dos cálculos são maiores que os máximos medidos e menores que os mínimos medidos nas tubulações de recalque. Isto acontece devido a existência da válvula de retenção junto a bomba, que ameniza as oscilações de pressão.

Concluimos, portanto, que a instrumentação em sistema de recalque se mostra um método eficaz para medição de pressão e vazão. Através da análise dos dados obtidos, podemos observar o comportamento do recalque das estações elevatórias. Durante o período de avaliação os únicos transientes observados foram decorrentes do acionamento/desligamento dos conjuntos motor/bomba. A instrumentação existente nestas elevatórias permite que se analisem eventos que ocorram de forma não programada. Além disso, os dados medidos podem ser utilizados, em conjunto com outras informações, para analisar as regras de operação dos sistemas elevatórios, buscando ajustar os critérios que considerem a eficiência operacional dos sistemas de recalque.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12214: projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12215-1: projeto de adutora de água - parte 1:conduto forçado.** Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14105: medidores de pressão – parte 1: medidores analógicos de pressão com sensor de elemento elástico – requisitos de fabricação, ensaios e utilização.** Rio de Janeiro, 2013.

AZEVEDO, J. M. N. **Manual de Hidráulica.** 8. ed. São Paulo, 1998.

BARBOSA, B. H. **Instrumentação, Modelagem, Controle e Supervisão de um Sistema de Bombeamento de Água e Módulo Turbina-Gerador.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

BORGES, A. L. O. **Máquinas Hidráulicas – Bombas.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

CAMARGO, Luiz A. **O Golpe de Aríete em Tubulações de Recalque.** Joinville, 1989.

CAPANEMA; S. P. **Instrumentação e Controle em uma Estação de Tratamento de Água.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

COSTA, R. N. T. **Golpe de Aríete – Transiente Hidráulico.** Universidade Federal do Ceará.

ESTEVES, C. S. **Estudo do Transiente Hidráulico em tubulações de transporte de água.** Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2018.

GOMES, H. P. **Sistemas de Abastecimento de Água: dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias.** 3. Ed. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2009.

GOMES, H. P. **Sistemas de Bombeamento: eficiência energética.** Ed. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2009.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2006.

HIDRAMACO. **Catálogo de Produtos: Soluções em ferro fundido**. São Paulo.

LANÇA, R.; SANTOS, D. COSTA, T. **Choque Hidráulico: Golpe de Aríete**. Cap. VII, Disciplina de Hidráulica Aplicada. Universidade do Algarve, 2001.

MACINTYRE, A. J., 1997, **Bombas e Instalações de Bombeamento**. 2 ed. Rio de Janeiro, LTC.

NETO, J. C. C.; CHEUNG, P. R.; PEREIRA, J. A. R.; SANTOS, D. C.; VIANA, A. N. C.; MARQUES, M. G.; GOMES, H. P. **Diagnóstico Hidroenergético em Sistemas de Bombeamento**. 2011.

REIS, L. F. R.; CHEUNG, P. R. **Os Vazamentos nas Redes de Distribuição de Água**. In: GOMES, H. P.; GARCIA, R. P.; REY, P. L. I. (Coord.). **Abastecimento de Água: o estado da arte e técnicas avançadas**. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2007.

SAINT-GOBAIN. **Catálogo Sanit-Gobain Canalização**. Rio de Janeiro

SANAGIOTTO, D. G. **Nota de Aula: Transientes hidráulicos, dispositivos de proteção e pré-dimensionamento**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021.

SILVESTRE, Paschoal. **Hidráulica Geral**. Editora: Livros técnicos e científicos, 1983.

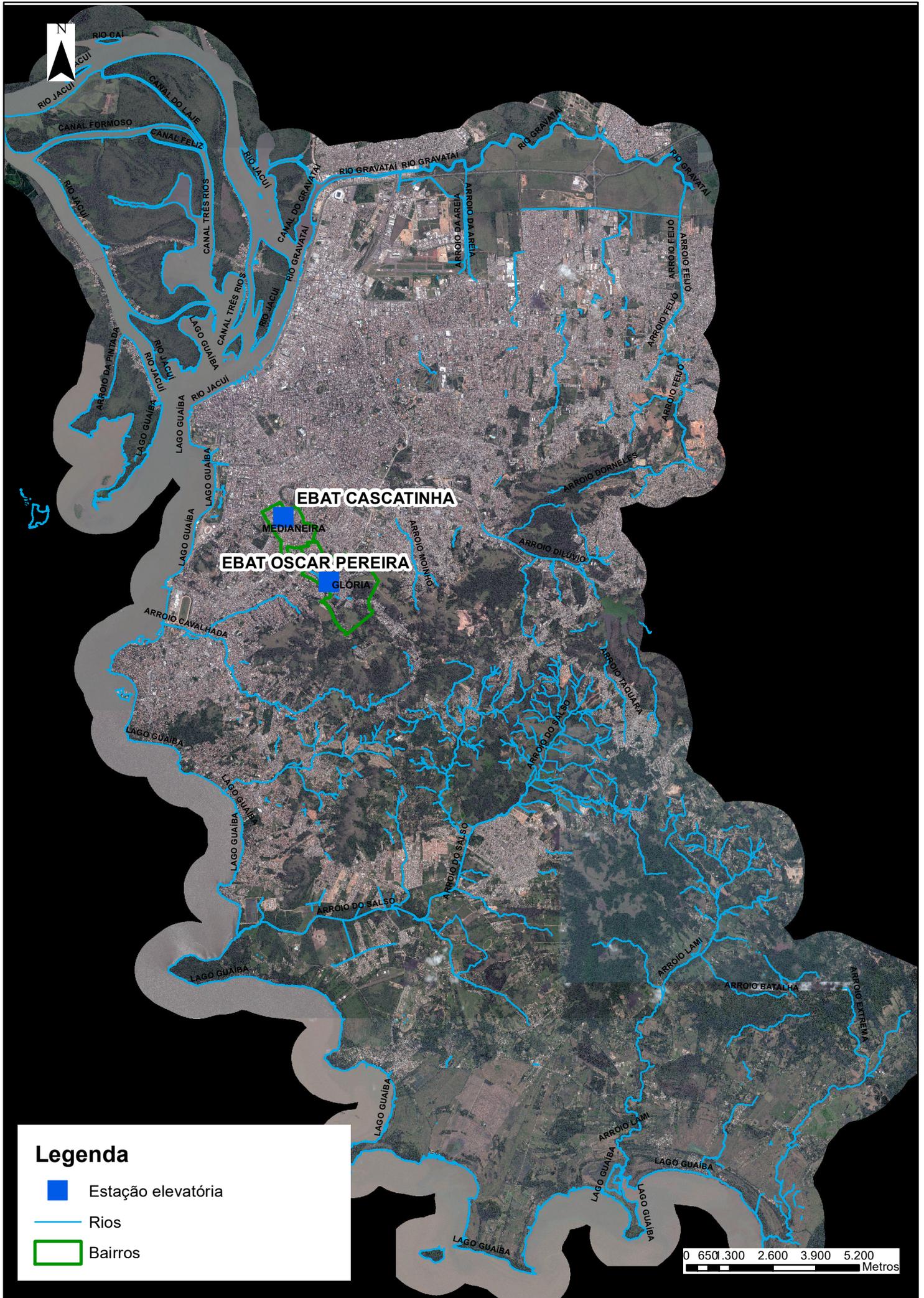
TASSINARI, L. C. S. **Transientes Hidráulicos em Sistemas de Bombeamento: Influência do Material do Conduto e Dispositivo de Proteção**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017. Dissertação de Mestrado.

TSUTIYA, Milton T. **Abastecimento de Água**. São Paulo, Escola Politécnica da USP. 3ª Edição, 2006.

ANEXO A - Mapa com Índice de Perdas Totais de 2018 da cidade de Porto Alegre

ANEXO B - Mapa com a localização das duas elevatórias e da EBAT Cascatinha na cidade de Porto Alegre

Localização das EBATS na cidade de Porto Alegre/RS/Brasil



EBAT Cascatinha



ANEXO C - Mapa com a Localização da EBAT Oscar Pereira na cidade de Porto Alegre

EBAT Oscar Pereira



ANEXO D - Planta Mecânica da EBAT Cascatinha



RUA DR. AURÉLIO PY

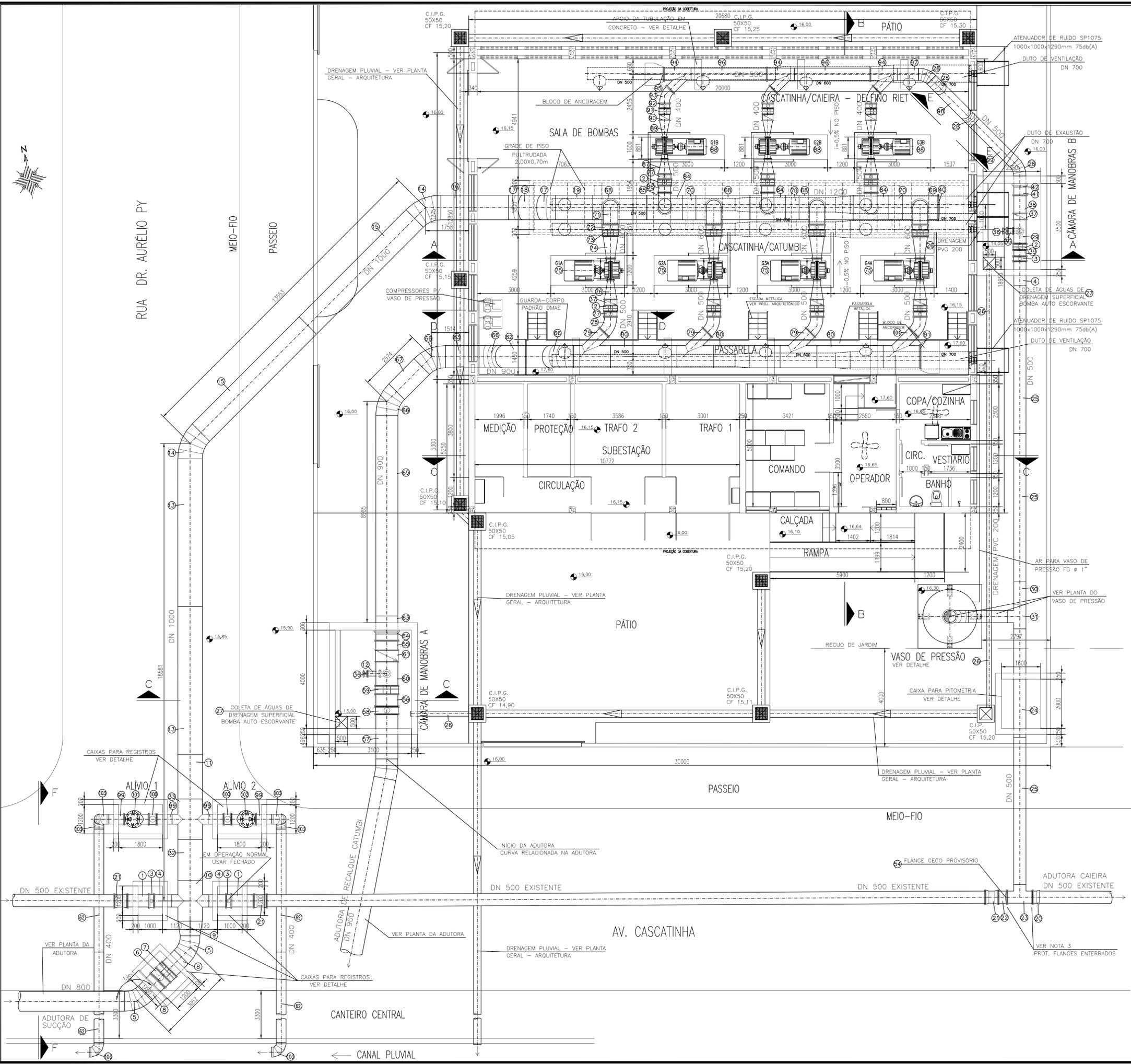
MEIO-FIO

PASSEIO

AV. CASCATINHA

CANTEIRO CENTRAL

CANAL PLUVIAL

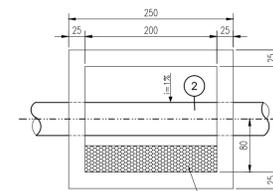


NOTAS

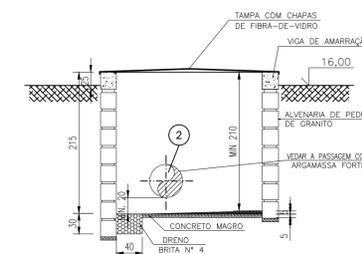
- 1- DIMENSÕES EM MILÍMETROS, NÍVEIS EM METROS. EXCETO INDICAÇÃO EM CONTRÁRIO.
- 2- AS PASSAGENS DAS TUBULAÇÕES NAS PAREDES DE ALVENARIA TERÃO PROTEÇÃO COM FELTRO ACALTRADO EM TODO O SEU CONTO.
- 3- A PROTEÇÃO DOS FLANGES ENTERRADOS DEVERÁ SER FEITA COM 2 DEMÃOS DE ZARCÃO DE BOA QUALIDADE, 3 DEMÃOS DE TINTA A BASE DE EPOXI E FINALMENTE REVESTIDO COM UMA MANTA DE BORRACHA SINTÉTICA e=3mm.
- 4- PEÇAS EM AÇO COM CORPO CHAPA 5/16" E FLANGES PN 10 CHAPA 3/4".
- 5- AS PEÇAS ASSINALADAS COM "*" (ASTERISCO) ESTÃO ESPECIFICADAS NO VOLUME DE ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS.
- 6- AS PEÇAS COM "*" SERÃO ESPECIAIS EM AÇO (VER NOTA 4) E DETALHES.
- 7- ESPECIFICAÇÕES DO GRUPO MOTOR-BOMBA:

	CATUMBI	CAIEIRA-DÉLFINO RIET
MOTOR (CV)	350	125
ROTOR (mm)	364	365
ROTAÇÃO (rpm)	1775	1775
AMFmáx (mce)	53,5	52,3
VAZÃO TOTAL (l/s)	333,33	125
Nº GRUPOS	3+1R	2+1R

- 8- VER RELAÇÃO DE PEÇAS NA PLANTA 02/04 - CORTES AA E BB.
- 9- VER PROJETO DA REDE PLUVIAL NA PLANTA 01/07 DE ARQUITETURA - SITUAÇÃO E LOCALIZAÇÃO.



PLANTA-BAIXA



CORTE TRANSVERSAL CAIXA PARA PITOMETRIA
ESC. 1:50 OBS.: DIMENSÕES EM CENTÍMETROS

DESENHO	PROJETO	MODIFICAÇÃO	REVISÃO	DATA
ENG/ARQ*	FISCAL DE OBRA			

magna engenharia ltda.
estudos, projetos e gerenciamento

Prefeitura Municipal de Porto Alegre
DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS

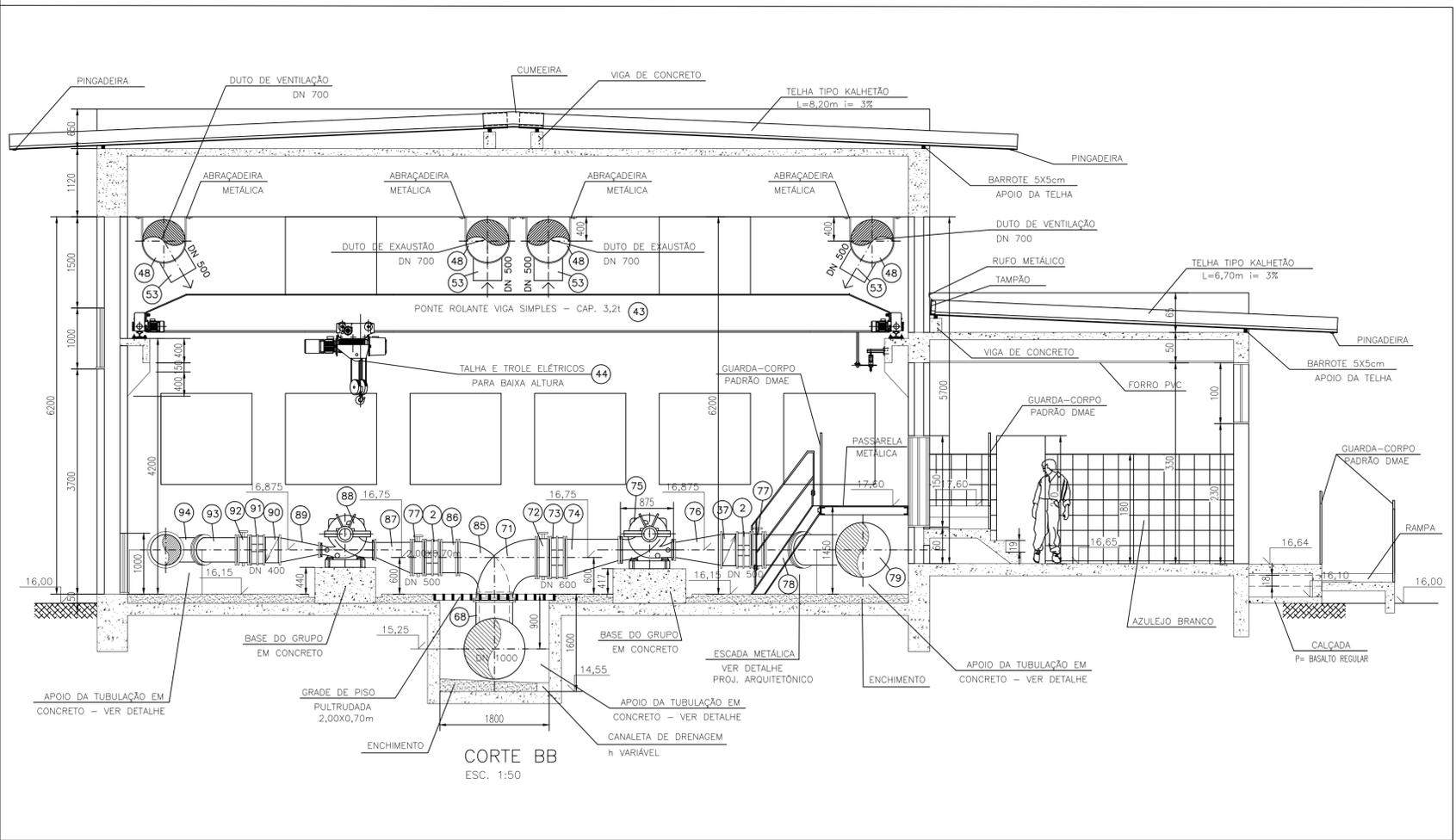
Divisão de Planejamento

EBAT CASCATINHA

PROJETO MECÂNICO

PLANTA-BAIXA E DETALHE

ARQUIVO DWG	DESENHO
CASCATINHA-MECrev3.dwg	Arq. Léo Cargnini
ESCALA	DATA
1:75	fev/2006
FRANCA	01/04
ENG/ARQ* PROJETO	ENG/ARQ* FISCAL
Engº Adejalmo Gozen	ENG-1634
Engº Sônia Montardo da Silva	
DIRETOR DA DIVISÃO	Engº Sérgio Leandro C. Selistre
CODIGO/PROCESSO	EBA 360 - OM-01



RELAÇÃO DE PEÇAS

Nº	DISCRIMINAÇÃO	MATERIAL	DIÂMETRO	QUANT.
1	TUBO COM FLANGE E PONTA - L=1,00m	FD	500	2
2	JUNTA DE DESMONTAGEM TRAVADA AXIALMENTE	AÇO	500	8
3	VÁLVULA BORBOLETA COM FLANGES E ATUADOR MECÂNICO	FD	500	3
4	TUBO COM FLANGE E PONTA - L=0,70m	AÇO	500	3
5	CURVA 45° SOLDADA	AÇO	800	2
6	VÁLVULA BORBOLETA COM FLANGES E ATUADOR MECÂNICO	FD	800	1
7	JUNTA DE DESMONTAGEM TRAVADA AXIALMENTE	AÇO	800	1
8	TUBO COM FLANGE E PONTA - L=0,70m	AÇO	800	2
9	REDUÇÃO CONCÊNTRICA SOLDADA	AÇO	1000x800	1
10	CRUZETA DE REDUÇÃO SOLDADA	AÇO	1000x500x100	1
11	TUBO SOLDADO - L=1,80m	AÇO	1000	1
12	TOCO COM FLANGES - L=0,50m	AÇO	200	1
13	TUBO SOLDADO - L=6,00m	AÇO	1000	2
14	CURVA 45° SOLDADA	AÇO	1000	1
15	TUBO SOLDADO - L=6,15m	AÇO	1000	2
16	TUBO SOLDADO - L=2,75m	AÇO	1000	1
17	CURVA 22'30" SOLDADA	AÇO	1000	2
18	TUBO SOLDADO - L=0,85m	AÇO	1000	1
19	TUBO SOLDADO - L=1,49m	AÇO	1000	1
20	EXTREMIDADE FLANGE E BOLSA JUNTA MECÂNICA	FD	500	1
21	LUXA DE CORRER JUNTA MECÂNICA	FD	500	3
22	EXTREMIDADE FLANGE E PONTA	FD	500	1
23	TE COM FLANGES E PONTA	AÇO	500x500	1
24	TUBO SOLDADO - L=1,41m	AÇO	500	1
25	TUBO SOLDADO - L=6,00m	AÇO	500	3
26	TUBO PONTA E BOLSA PARA ESGOTO L=6,00 m	PVC	200	3
27	BOMBA DE DRENAGEM AUTO-ESCORVANTE 3500rpm 60Hz 1/2CV	-	-	2
28	CURVA 45° SOLDADA	AÇO	500	4
29	TE DE REDUÇÃO COM FLANGES	AÇO	500x200	1
30	TUBO SOLDADO - L=0,93m	AÇO	500	1
31	TE SOLDADO	AÇO	500x500	1
32	TUBO SOLDADO - L=1,67m	AÇO	1000	1
33	TE DE REDUÇÃO SOLDADO	AÇO	1000x400	1
34	CURVA 90° COM FLANGES	AÇO	200	1
35	TOCO COM FLANGES - L=0,25m	AÇO	200	1
36	REGISTRO DE GAVETA COM FLANGES EURO 20	FD	200	2
37	VÁLVULA DE RETENÇÃO FECHAMENTO RÁPIDO (CLASAR)	AÇO	500	5
38	TUBO COM FLANGES - L=0,75m	AÇO	500	1
39	TOCO COM FLANGES - L=0,25m	AÇO	500	1
40	FLANGE CEGO	AÇO	1000	1
41	TUBO COM FLANGE E PONTA - L=0,78m	AÇO	500	1
42	PLACA SUPORTE ALTAZADA 1000X1000 FIXADA NA PAREDE	AÇO	500	1
43	PONTE ROLANTE VIGA SIMPLES - CAP. 3,2t - L= 20m, LARG=12,45m	AÇO	-	1
44	TROLE E TALHA ELÉTRICA CAP. 3,2t. ALTURA IÇAMENTO 3,50m	AÇO	-	1
45	VENTILADOR TUBO AXIAL POT. 7,5 CV 4 PÓLOS 23.000m³/h	-	700	2
46	EXAUSTOR TUBO AXIAL POT. 7,5 CV 4 PÓLOS 23.000m³/h	-	700	2
47	Atenuador de Ruído SP1075: 1000x1000x1290mm 75db(A)	C.C.	-	4
48	TUBO EM CHAPA GALVANIZADA Nº20 L=4,81m	C.C.	700	4
49	REDUÇÃO EM CHAPA GALVANIZADA Nº20 L=0,60m	C.C.	700x600	4
50	TUBO EM CHAPA GALVANIZADA Nº20 L=3,50m	C.C.	600	4
51	REDUÇÃO EM CHAPA GALVANIZADA Nº20 L=0,60m	C.C.	600x500	4
52	TUBO EM CHAPA GALVANIZADA Nº20 L=7,45m COM TAMPÃO	C.C.	500	4
53	TUBO EM CHAPA GALVANIZADA Nº20 L=0,65m	C.C.	500	16
54	FLANGE CEGO	AÇO	500	1
55	TUBO COM FLANGES - L=0,40m	AÇO	900	1
56	TUBO COM FLANGES - L=0,50m	AÇO	900	1
57	TUBO COM FLANGE E PONTA - L=1,80m	AÇO	900	1
58	VÁLVULA BORBOLETA COM FLANGES E ATUADOR MECÂNICO	FD	900	1
59	JUNTA DE DESMONTAGEM TRAVADA AXIALMENTE	AÇO	900	1
60	CRUZETA DE REDUÇÃO COM FLANGES	AÇO	900x200x100	1
61	VÁLVULA DE RETENÇÃO FECHAMENTO RÁPIDO (CLASAR)	AÇO	900	1
62	TUBO SOLDADO - L=5,02m	AÇO	400	4
63	TUBO COM FLANGE E PONTA - L=1,00m	AÇO	900	1
64	PLACA SUPORTE ALTAZADA 1200X1200 FIXADA NA PAREDE	AÇO	900	1
65	TUBO SOLDADO - L=8,15m	AÇO	900	1
66	CURVA 45° SOLDADA	AÇO	900	4
67	TUBO SOLDADO - L=1,45m	AÇO	900	1
68	TE COM PONTAS - L=2,20m	AÇO	1000x600	3
69	TE COM FLANGES E PONTA - L=1,45m	AÇO	1000x600	1
70	TOCO COM PONTAS - L=0,55m	AÇO	1000	3
71	CURVA 90° COM FLANGES	AÇO	600	4
72	VÁLVULA BORBOLETA COM FLANGES E ATUADOR ELÉTRICO	FD	600	4
73	JUNTA DE DESMONTAGEM TRAVADA AXIALMENTE	AÇO	600	4
74	REDUÇÃO EXCÊNTRICA COM FLANGES	AÇO	600x350	4
75	GRUPO MOTOR-BOMBA CENTRÍFUGA	-	-	4
76	REDUÇÃO CONCÊNTRICA COM FLANGES	AÇO	500x300	4
77	VÁLVULA BORBOLETA COM FLANGES E ATUADOR ELÉTRICO	FD	500	7
78	CURVA 45° COM FLANGES	AÇO	500	4
79	JUNÇÃO 45° COM FLANGE E PONTAS	AÇO	900x500	3
80	TUBO COM PONTAS - L=2,70m	AÇO	900	3
81	FLANGE CEGO	AÇO	900	1
82	TUBO SOLDADO - L=2,72m	AÇO	900	1
83	TUBO SOLDADO - L=1,37m	AÇO	900	1
84	TE COM PONTAS - L=1,45m	AÇO	1000x500	3
85	CURVA 90° COM FLANGES	AÇO	500	3
86	TOCO COM FLANGES - L=0,29m	AÇO	500	3
87	REDUÇÃO EXCÊNTRICA COM FLANGES	AÇO	500x250	3
88	GRUPO MOTOR-BOMBA CENTRÍFUGA	-	-	3
89	REDUÇÃO CONCÊNTRICA COM FLANGES	AÇO	400x150	3
90	VÁLVULA DE RETENÇÃO FECHAMENTO RÁPIDO (CLASAR)	AÇO	400	3
91	JUNTA DE DESMONTAGEM TRAVADA AXIALMENTE	AÇO	400	3
92	VÁLVULA BORBOLETA COM FLANGES E ATUADOR ELÉTRICO	FD	400	3
93	CURVA 45° COM FLANGES	AÇO	400	3
94	JUNÇÃO 45° COM FLANGES E PONTA	AÇO	500x400	3
95	FLANGE CEGO	AÇO	500	1
96	TUBO COM FLANGE E PONTA - L=3,09m	AÇO	500	2
97	TUBO SOLDADO - L=0,85m	AÇO	500	1
98	TUBO SOLDADO - L=2,02m	AÇO	500	1
99	TUBO COM FLANGE E PONTA - L=0,65m	AÇO	400	4
100	REGISTRO DE GAVETA COM FLANGES EURO 20	FD	400	2
101	VÁLVULA DE CONTROLE DE ALÍMVO COM FLANGES P/ 30mco	FD	400	1
102	VÁLVULA DE CONTROLE DE ALÍMVO COM FLANGES P/ 35mco	FD	400	1
103	CURVA 90° SOLDADA	AÇO	400	6
104	JUNÇÃO 45° COM FLANGES E PONTA	AÇO	900x500	1

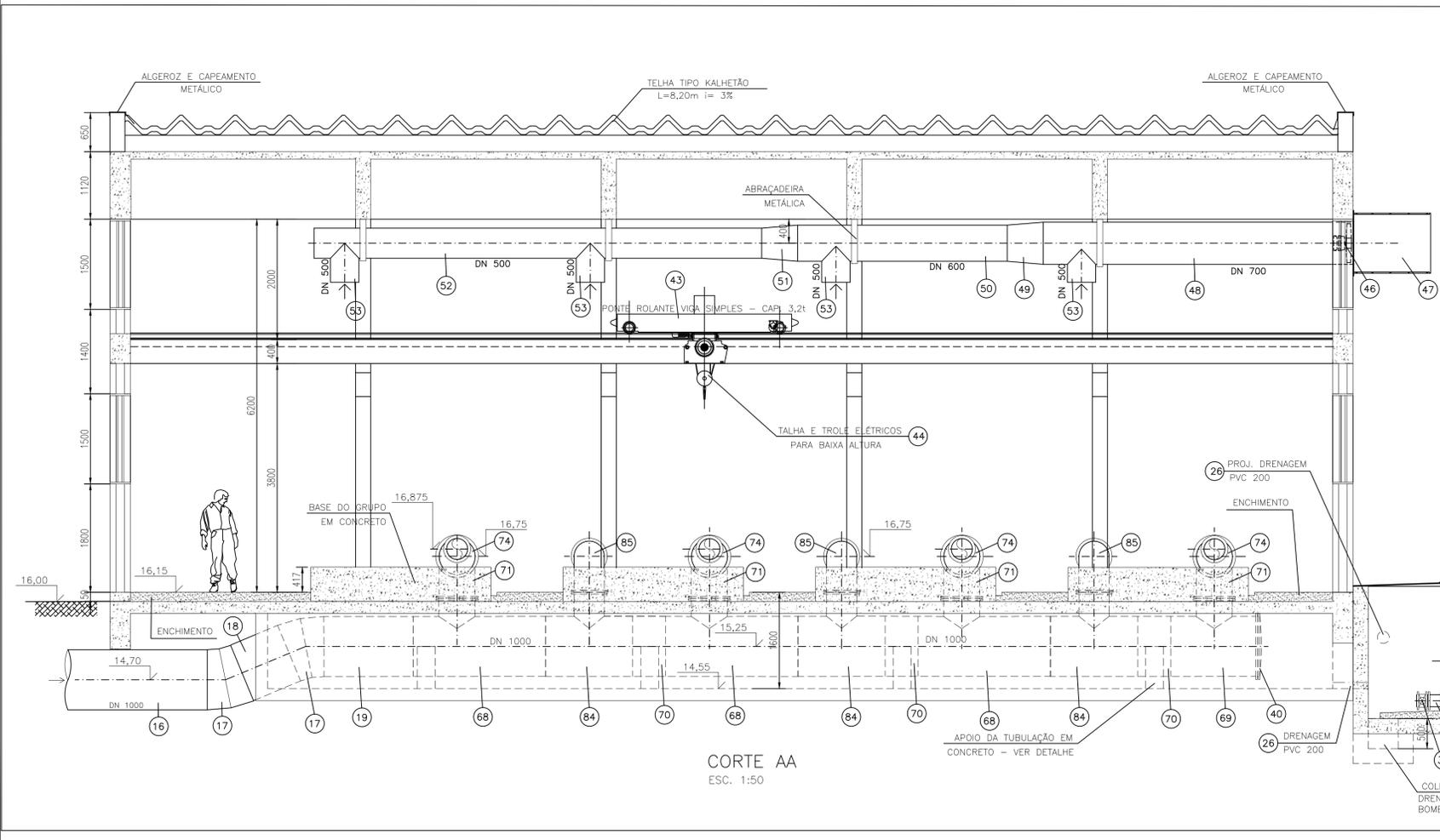
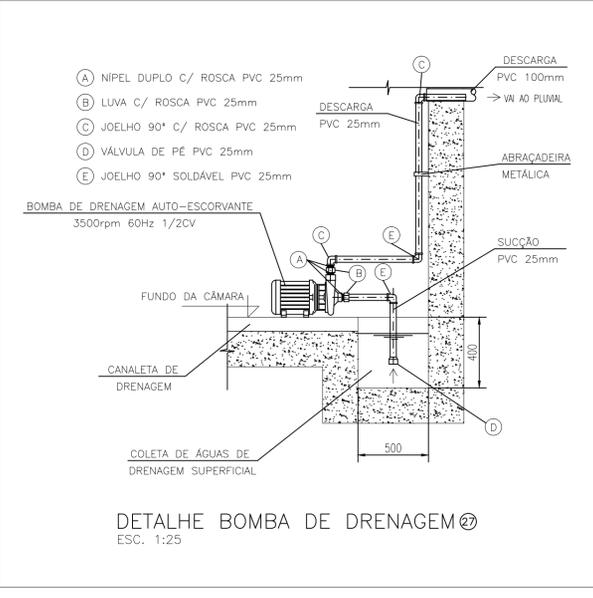
* - VER NOTA 5
 * - VER NOTA 6
 * - VER NOTA 7

NOTAS

- 1- DIMENSÕES EM MILÍMETROS, NÍVEIS EM METROS, EXCETO INDICAÇÃO EM CONTRÁRIO.
- 2- AS PASSAGENS DAS TUBULAÇÕES NAS PAREDES DE ALVENARIA TERÃO PROTEÇÃO COM FILTRO ALCATROADO EM TODO O SEU CONTOURO.
- 3- A PROTEÇÃO DOS FLANGES ENTERRADOS DEVERÁ SER FEITA COM 2 DEMÃOS DE ZARÇAO DE BOA QUALIDADE, 3 DEMÃOS DE TINTA A BASE DE EPOXI E FINALMENTE REVESTIDO COM UMA MANTA DE BORRACHA SINTÉTICA e=3mm.
- 4- PEÇAS EM AÇO COM CORPO CHAPA 5/16" E FLANGES PN 10 CHAPA 3/4".
- 5- AS PEÇAS ASSINALADAS COM "*" (ASTERISCO) ESTÃO ESPECIFICADAS NO VOLUME DE ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS.
- 6- AS PEÇAS COM "s" SERÃO ESPECIAIS EM AÇO (VER NOTA 4) E DETALHES.
- 7- ESPECIFICAÇÕES DO GRUPO MOTOR-BOMBA:

	CATUMBI	CAIEIRA-DELFINO RIET
MOTOR (CV)	350	125
ROTOR (mm)	364	365
ROTAÇÃO (rpm)	1775	1775
AMTm _{ax} (mca)	53,5	52,3
VAZÃO TOTAL (l/s)	333,33	125
Nº GRUPOS	3+1R	2+1R

8- VER RELAÇÃO DE PEÇAS NA PLANTA 02/04 - CORTES AA E BB.



RELAÇÃO DE PEÇAS

Nº	DISCRIMINAÇÃO	MATERIAL	DIÂMETRO	QUANT.
75	GRUPO MOTOR-BOMBA CENTRÍFUGA	-	-	4
76	REDUÇÃO CONCÊNTRICA COM FLANGES	AÇO	500x300	4
77	VÁLVULA BORBOLETA COM FLANGES E ATUADOR ELÉTRICO	FD	500	7
78	CURVA 45° COM FLANGES	AÇO	500	4
79	JUNÇÃO 45° COM FLANGE E PONTAS	AÇO	900x500	3
80	TUBO COM PONTAS - L=2,70m	AÇO	900	3
81	FLANGE CEGO	AÇO	900	1
82	TUBO SOLDADO - L=2,72m	AÇO	900	1
83	TUBO SOLDADO - L=1,37m	AÇO	900	1
84	TE COM PONTAS - L=1,45m	AÇO	1000x500	3
85	CURVA 90° COM FLANGES	AÇO	500	3
86	TOCO COM FLANGES - L=0,29m	AÇO	500	3
87	REDUÇÃO EXCÊNTRICA COM FLANGES	AÇO	500x250	3
88	GRUPO MOTOR-BOMBA CENTRÍFUGA	-	-	3
89	REDUÇÃO CONCÊNTRICA COM FLANGES	AÇO	400x150	3
90	VÁLVULA DE RETENÇÃO FECHAMENTO RÁPIDO (CLASAR)	AÇO	400	3
91	JUNTA DE DESMONTAGEM TRAVADA AXIALMENTE	AÇO	400	3
92	VÁLVULA BORBOLETA COM FLANGES E ATUADOR ELÉTRICO	FD	400	3
93	CURVA 45° COM FLANGES	AÇO	400	3
94	JUNÇÃO 45° COM FLANGES E PONTA	AÇO	500x400	3
95	FLANGE CEGO	AÇO	500	1
96	TUBO COM FLANGE E PONTA - L=3,09m	AÇO	500	2
97	TUBO SOLDADO - L=0,85m	AÇO	500	1
98	TUBO SOLDADO - L=2,02m	AÇO	500	1
99	TUBO COM FLANGE E PONTA - L=0,65m	AÇO	400	4
100	REGISTRO DE GAVETA COM FLANGES EURO 20	FD	400	2
101	VÁLVULA DE CONTROLE DE ALÍMVO COM FLANGES P/ 30mco	FD	400	1
102	VÁLVULA DE CONTROLE DE ALÍMVO COM FLANGES P/ 35mco	FD	400	1
103	CURVA 90° SOLDADA	AÇO	400	6
104	JUNÇÃO 45° COM FLANGES E PONTA	AÇO	900x500	1

* - VER NOTA 5
 * - VER NOTA 6
 * - VER NOTA 7

DESENHO PROJETO MODIFICAÇÃO REVISÃO DATA
 ENQ/ARQ* FISCAL DE OBRA

magna engenharia ltda.
estudos, projetos e gerenciamento

RUA D. PEDRO II, 331 - Bairro São João - CEP. 90.550-142 - Fone: 3337-3322 - Fax: 3337-3323 - Porto Alegre/RS e-mail: magnaeng@magnaeng.com.br

Prefeitura Municipal de Porto Alegre
 DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS

DMAE

Divisão de Planejamento

EBAT CASCATINHA

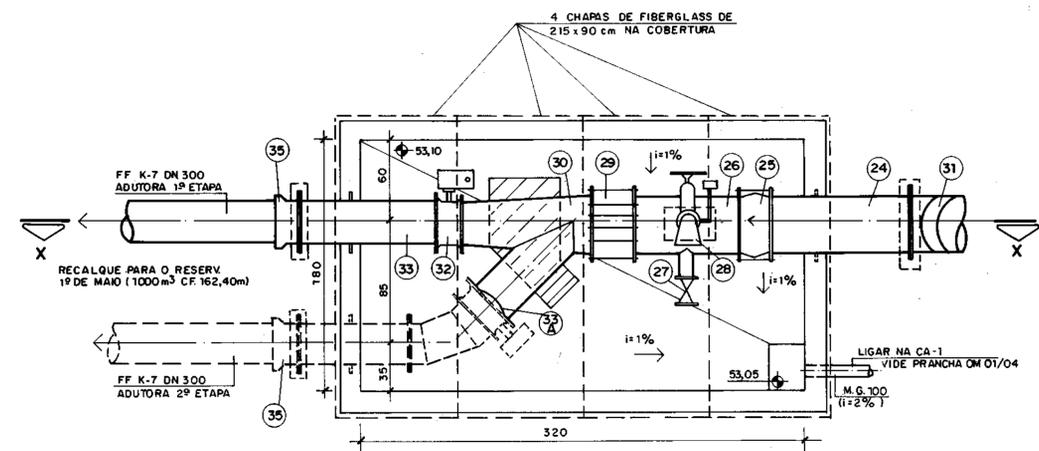
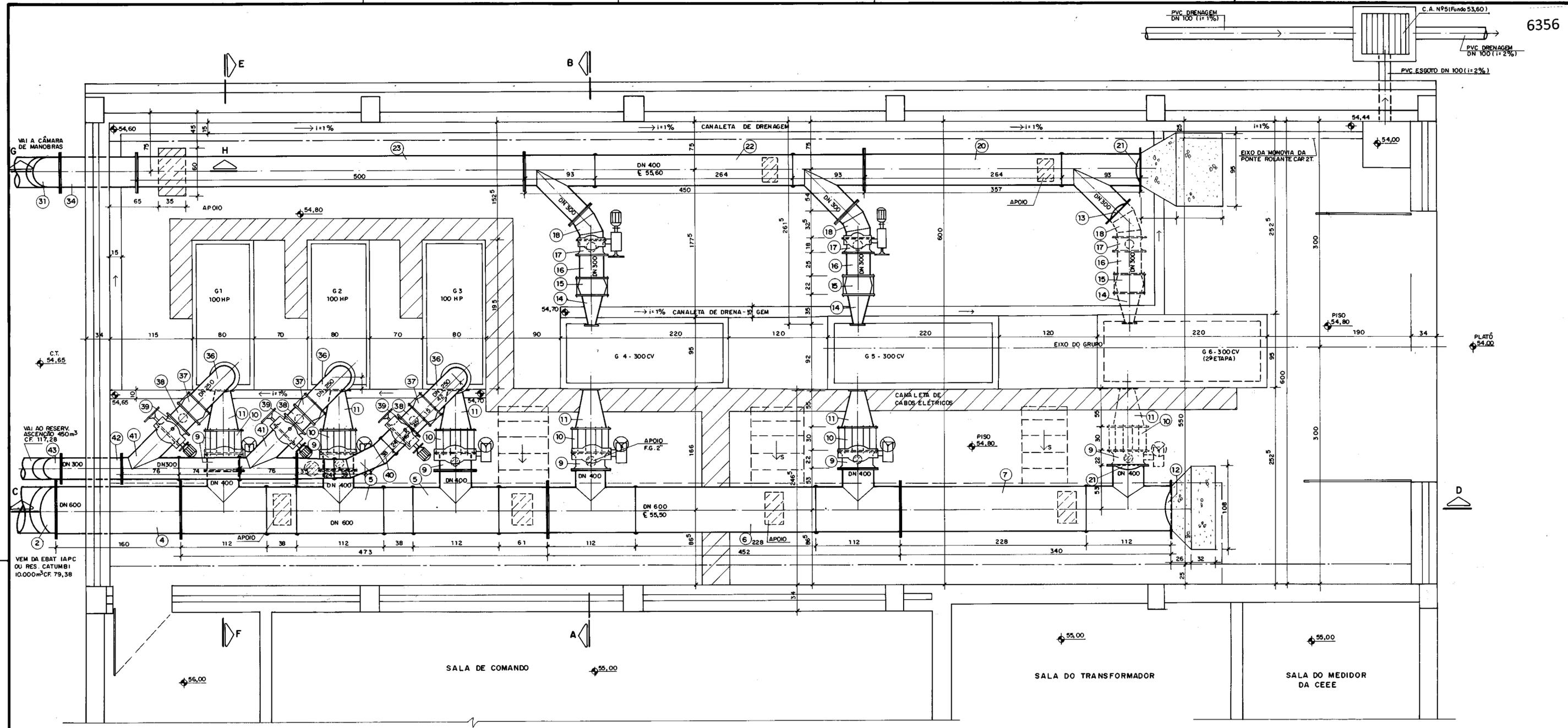
PROJETO MECÂNICO
CORTES AA, BB E DETALHES

ARQUIVO Dwg: CASCATINHA-MECrev3.dwg | DESENHO: Arq. Léo Cargnin
 ESCALA: INDICADA | DATA: fev/2006 | FRENDA: 02/04
 ENQ/ARQ PROJETO: Eng.º Adajalmo Gozen CREA-16384
 ENQ/ARQ FISCAL: Eng.º Sônia Montarda da Silva
 DIRETOR DA DIVISÃO: Eng.º Sérgio Leandro C. Selistre
 CDDO/PROJCC330

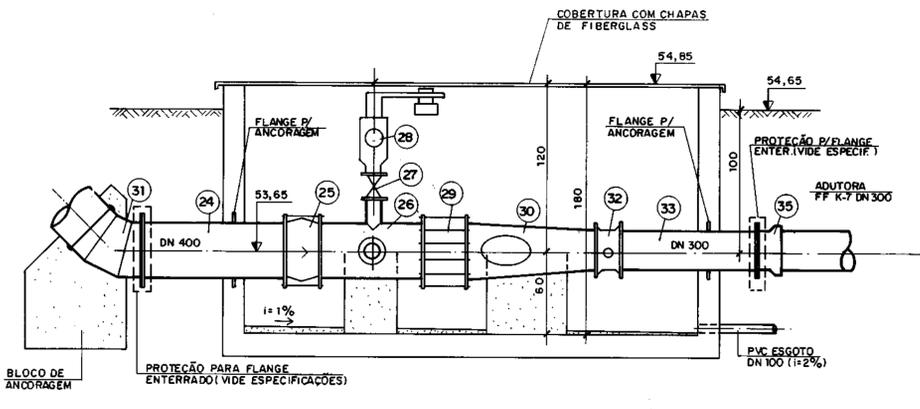
EBA 360 . OM-02

1287n-D-EAT-MEC-02-03

ANEXO E - Planta Mecânica da EBAT Oscar Pereira



CÂMARA DE MANOBRAS DA ADUTORA
PLANTA BAIXA
 ESC. 1: 25
 (P/ RES. 1ª DE MAIO)



CORTE X - X
 ESC. 1: 25

- OBSERVAÇÕES:**
- 1- GRUPOS 1, 2 e 3: RECALQUE PARA RESERVATÓRIO ASCENÇÃO - Q= 80 L/s - H MAN. 54,64
 PARADIGMA: BOMBA KSB MEGANORM 150-400 ROTOR Ø 340 - PARADIGMA: MOTOR 100 CV - 1800RPM - 380V - 60 Hz
 - 2- GRUPOS 4 e 5 (1ª ETAPA) E 6 (2ª ETAPA) RECALQUE PARA RESERVATÓRIO 1º DE MAIO - Q=100 L/s - H MAN. 117,28
 PARADIGMA: BOMBA KSB RDL 150-500 A, ROTOR A Ø 475 OU WORTHINGTON S LN 22, ROTOR B Ø 20,00"
 PARADIGMA: MOTOR 300 CV - 1800 RPM - 380V
 - 3- ENTRONCAMENTOS DAS ADUTORAS VIDE PLANTA GERAL (OM 01/04) - RELAÇÃO DAS PEÇAS (FRANCHA OM 03/04)

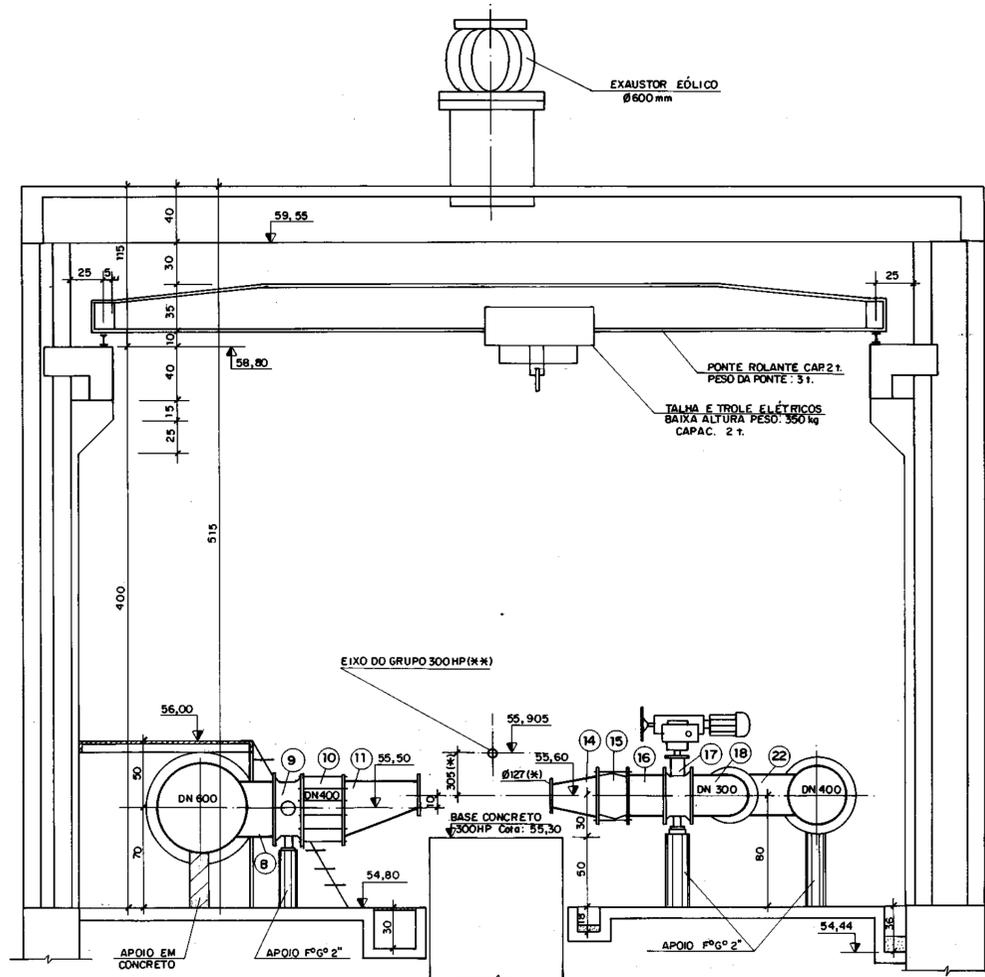
CADASTRO	ENG. FISCAL BEHEREGARAY - ELMO	DEZ / 01
CADASTRO	MEN. 1340/98 - ENG. FISCAL ROGERIO - ARCHEL	NOV / 98
DESENHO	PROJETO	MODIFICAÇÃO
REVISÃO	DATA	

IDMAE PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE
 DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS

SANEÁGUA - SANEAMENTO E ABASTECIMENTO D'ÁGUA LTDA

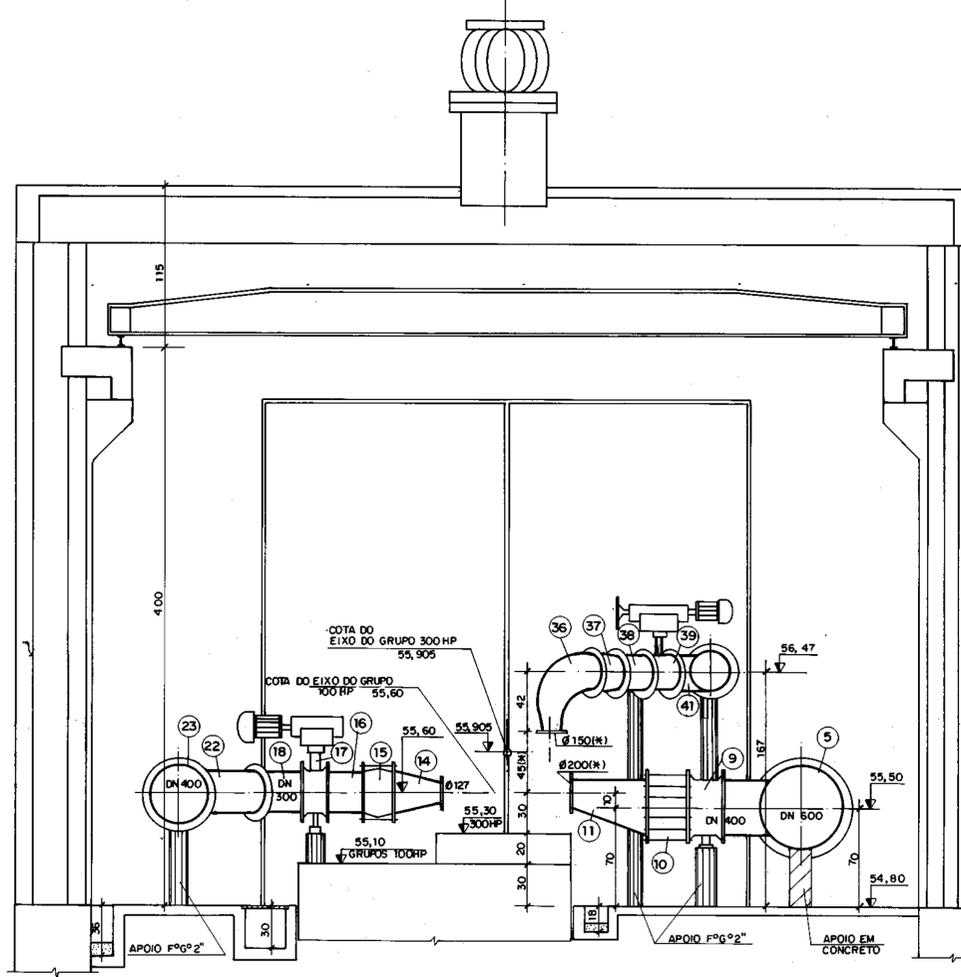
PROJETO DE ABASTECIMENTO D'ÁGUA PARA A REGIÃO DA GRANDE GLÓRIA

DESENHO: M. CORUJA
 Nº DO AÑO: 119
 ESCALA: 1: 25
 DATA: SET / 95
 CÓDIGO: EBA 317
 PROJETO: ENGR. FAUSTO DE ANGELIS CREA / RS - 11728
 DIRETOR DA DIVISÃO: OM 02



CORTE A - B
ESC. 1:25

(*) MEDIDAS 305x127 REF. WORTHINGTON 5 LN-22 (1775 RPM - ROTOR B)
(**) PESO DO MOTOR DE 300 HP - 1800 RPM : 1.351 kg (REF. WEG)



CORTE E - F
ESC. 1:25

(*) MEDIDAS 45cm E DIÂMETROS 150x200mm REF. KSB MEGANORM 150/400
(**) PESO DO MOTOR DE 100 HP - 1800 RPM : 490 kg (REF. WEG)

PEÇA Nº	DISCRIMINAÇÃO DAS PEÇAS	MAT.	1ª ET.	2ª ET.	PEÇA Nº	DISCRIMINAÇÃO DAS PEÇAS	MAT.	1ª ET.	2ª ET.
1	JUNÇÃO COM REDUÇÃO DN 600x400 COM FLANGES E DERIVAÇÃO DN 100	AÇO	1		25	VÁLV. RETENÇÃO "CLASAR" DN 400 PN 16	FF	1	
2	TUBO COM DUAS CURVAS 45° DN 600 L = 1,70m	AÇO	1		26	TE COM SAÍDA DUPLA DN 400x100x100	AÇO	1	
3	VÁLV. BORBOLETA COM FLANGES VBF 16 IYV DN 400 C/ATUADOR e VOLANTE	FF	1	1	27	REGISTRO RCFC 16 DN 100	FF	2	
4	TUBO COM FLANGES DN 600 L = 1,60m	AÇO	1		28	VÁLV. DE ALÍVIO SE 316 DN 100x150	AÇO	1	
5	BARRILETE COM TRES TES DN 600x400 L = 4,73m	AÇO	1		29	JUNTA DE DESMONTAGEM JDTA 16 DN 300	FF	2	
6	BARRILETE COM DOIS TES DN 600x400 L = 4,52m	AÇO	1		30	JUNÇÃO COM REDUÇÃO DN 400x300x300	AÇO	1	
7	BARRILETE COM UM TE DN 600x400 L = 3,40m	AÇO	1		31	TUBO COM DUAS CURVAS 45° DN 400 L = 2,25m	AÇO	1	
8	TUBO COM FLANGES DN 400 L = 0,80m	AÇO	1	1	32	VÁLV. BORBOLETA VBF 16 IYC DN 300	FF	2	
8A	EXTREMIDADE EFJE 16 DN 400	FF	1	1	33	TUBO DN 300 L = 1,00m C/ANCORAGEM	AÇO	3	
9	VÁLV. BORBOLETA COM FLANGES VBF 16 IYV DN 400 C/ATUADOR MECÂNICO E VOLANTE	FF	5	1	33A	FLANGE CEGO FC 16 DN 300	FF	1	
10	JUNTA DE DESMONTAGEM JDTA 16 DN 400	FF	6	2	34	TUBO DN 400 C/ FLANGES L = 1,00m	AÇO	1	
11	REDUÇÃO EXCÊNTRICA DN 400 x 200	AÇO	5	1	35	EXTREMIDADE EFJE 16 DN 300	FF	2	
12	FLANGE CEGO FC 16 DN 600	FF	1		36	CURVA 90° COM REDUÇÃO DN 250x150	AÇO	3	
13	FLANGE CEGO FC 16 DN 300	FF	2		37	VÁLV. RETENÇÃO "CLASAR" DN 250 PN 16	FF	3	
14	REDUÇÃO DN 300x150 (KSB) OU DN 300x125 (WORTHINGTON)	AÇO	2	1	38	TOCO COM FLANGES DN 250 L = 0,25m	AÇO	3	
15	VÁLV. RETENÇÃO "CLASAR" DN 300 PN 16	FF	2	1	39	VÁLV. BORBOLETA VBF 16 IYV DN 250 COM ATUADOR ELÉTRICO	FF	3	
16	TOCO COM FLANGES DN 300 L = 0,25m	AÇO	2	1	40	CURVA 45° RAIOS LONGO C/EXTENSÕES DN 250 E REDUÇÃO DN 300 x 250	AÇO	1	
17	VÁLV. BORBOLETA C/ FLANGES VBF 16 IYV DN 300 C/ ATUADOR MECÂNICO E VOLANTE	FF	2	1	41	BARRILETE DN 300 L = 2,26m COM DUAS DERIVAÇÕES DN 250	AÇO	1	
18	CURVA 45° C/ FLANGES DN 300	AÇO	2	1	42	TUBO COM FLANGES DN 300 L = 0,80m	AÇO	1	
19	ELIMINADA				43	TUBO COM DUAS CURVAS 45° DN 300 L = 3,25m	AÇO	1	
20	BARRILETE DN 400 L = 3,57m COM UMA DERIVAÇÃO DN 300	AÇO	1		44	EXTREMIDADE EFJE 16 DN 300	FF	1	
21	FLANGE CEGO FC 16 DN 400	FF	2		45	CURVA C 45° JE DN 300	FF	2	
22	BARRILETE DN 400 L = 4,50m COM DUAS DERIVAÇÕES DN 300	AÇO	1		46	TE TJE F 16 DN 300 x 100	FF	1	
23	TUBO DN 400 L = 5,00m			1	47	REGISTRO RCFC 16 DN 100	FF	2	
24	TUBO DN 400 L = 1,00m COM ANCORAGEM	AÇO	1		48	VENTOSA VTF 16 DN 100	FF	1	
					49	CURVA C 22° JE DN 300	FF	2	
					50	VÁLV. RETENÇÃO "CLASAR" DN 300 PN 16	FF	1	
					51	TE DN 300x100	AÇO	1	

OBS: PEÇAS DE AÇO ESR 1/2" E FLANGE ESR 7/8"

CADASTRO	ENG. FISCAL BEHEREGARAY - ELMO	DEZ/01
CADASTRO	MEM. 1340/98-ENG. FISCAL ROGERIO - ARCHEL	NOV/98
DESENHO	PROJETO	MODIFICAÇÃO
REVISÃO		DATA

JOMAE PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE
DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS

SANEÁGUA - SANEAMENTO E ABASTECIMENTO D'ÁGUA LTDA

PROJETO DE ABASTECIMENTO D'ÁGUA PARA A REGIÃO DA GRANDE GLÓRIA

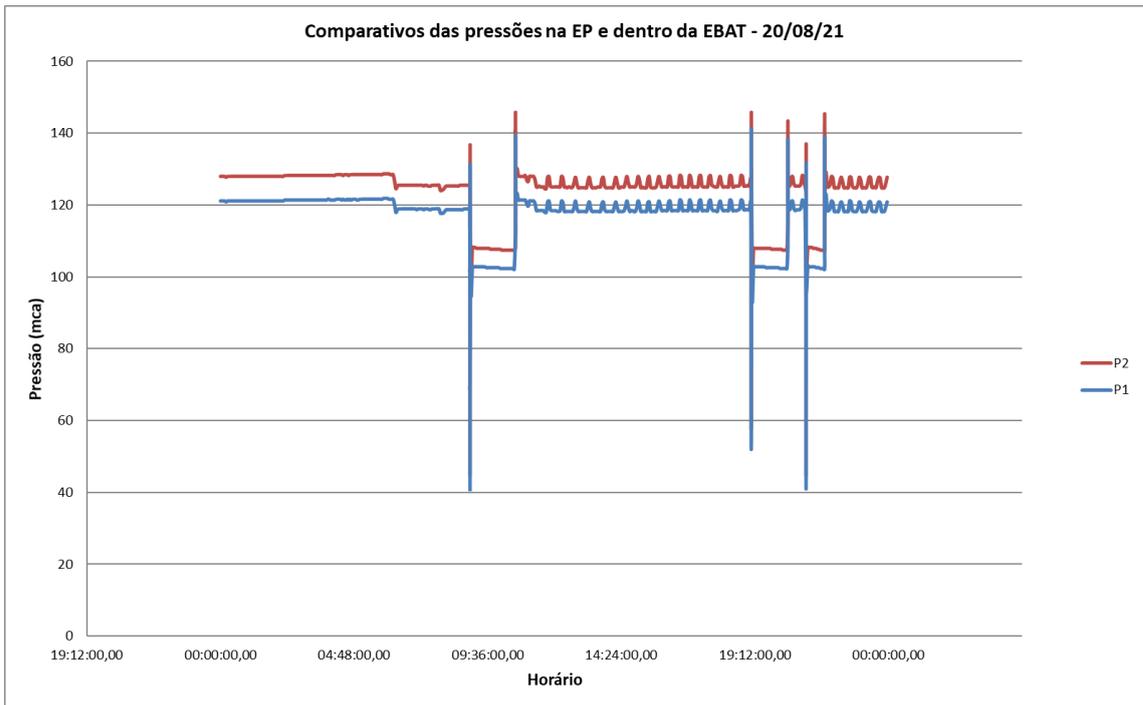
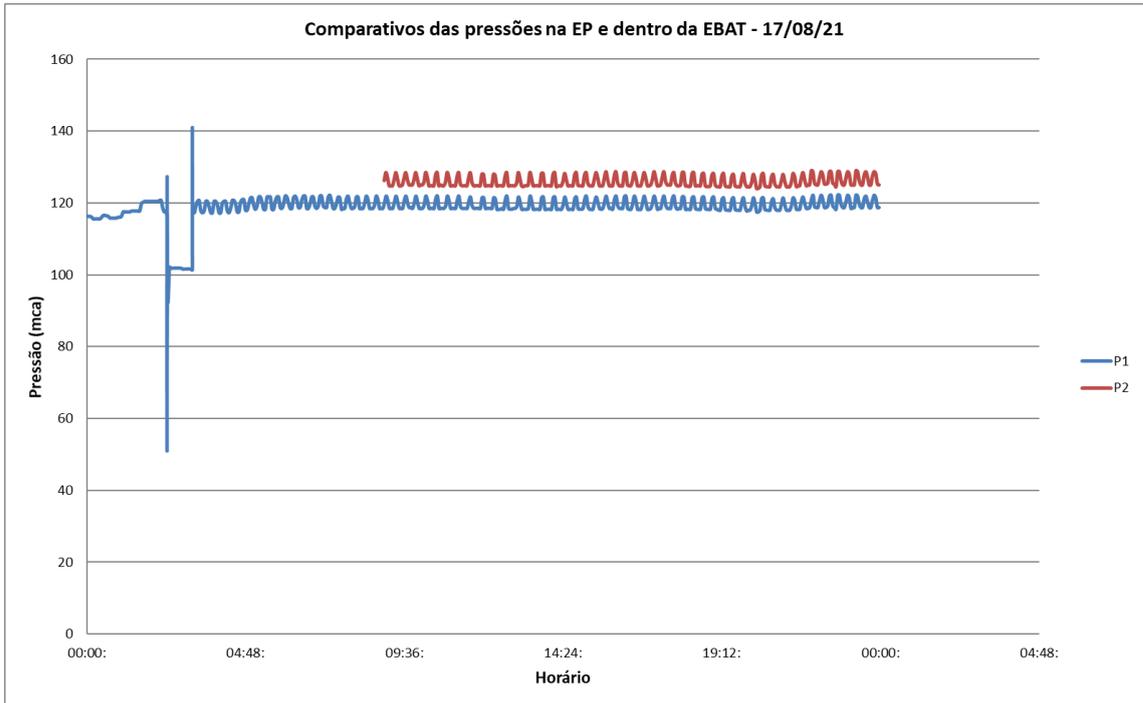
EBAT OSCAR PEREIRA
INSTALAÇÕES MECÂNICAS
CORTES A-B e E-F

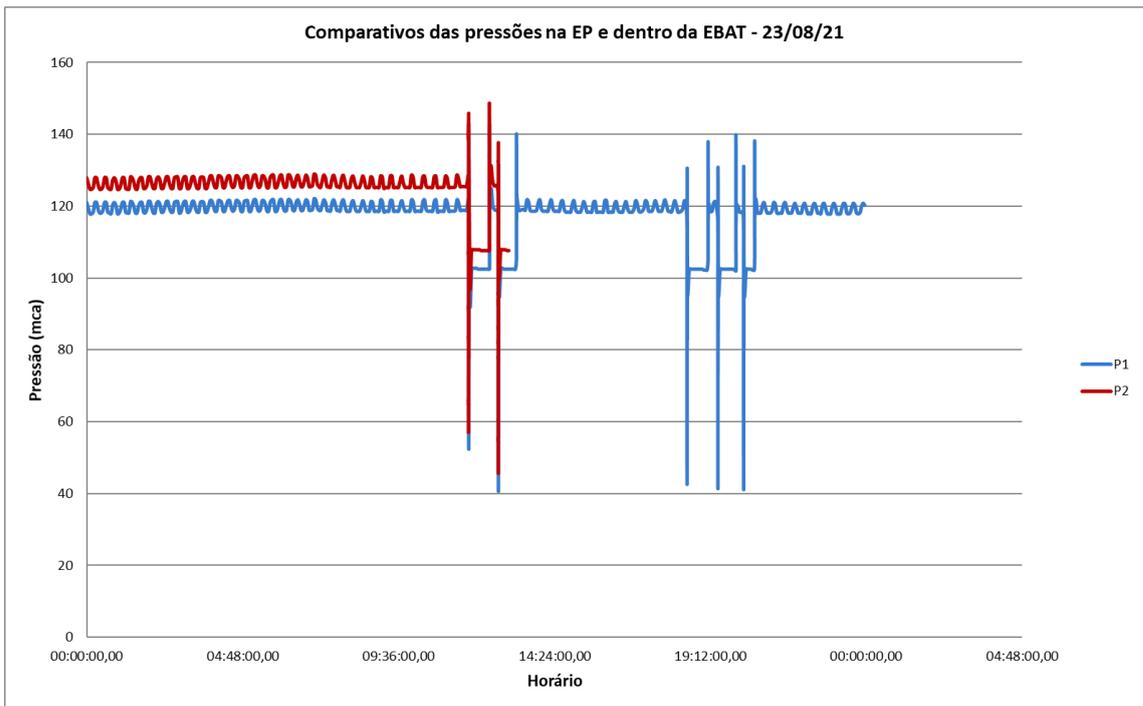
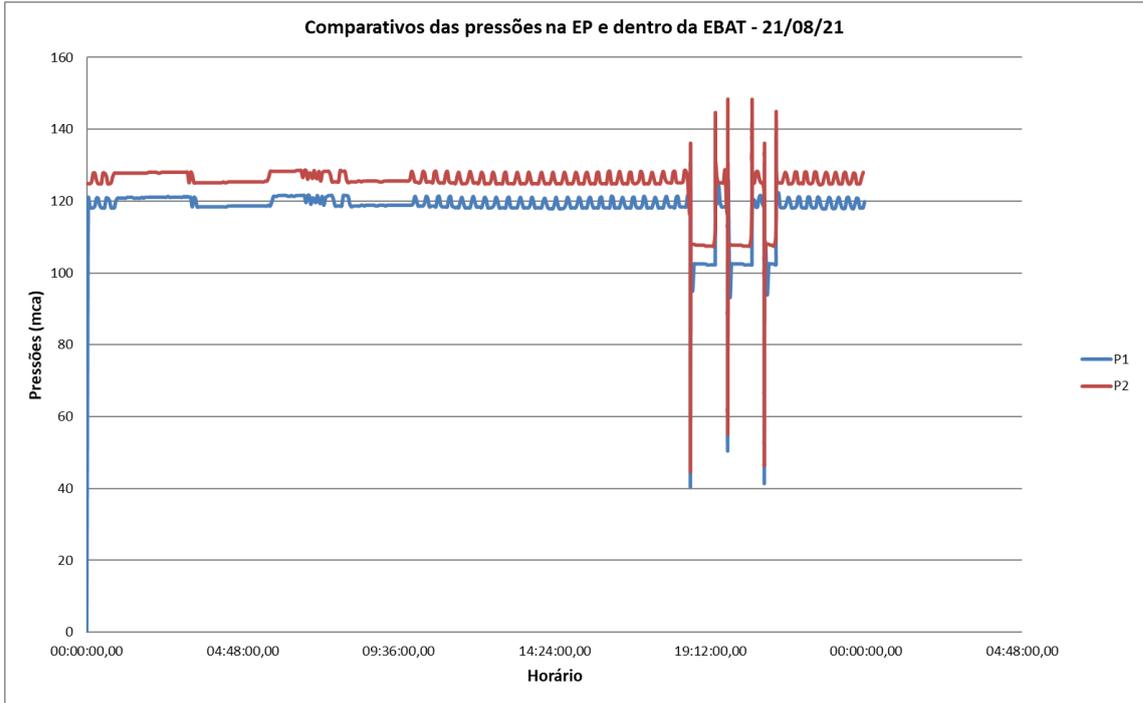
PROJETO	CNEP FAUSTO A. DE ANGELES	DIRETOR DA DIVISÃO
CREA/RB	11726	

EBA 317

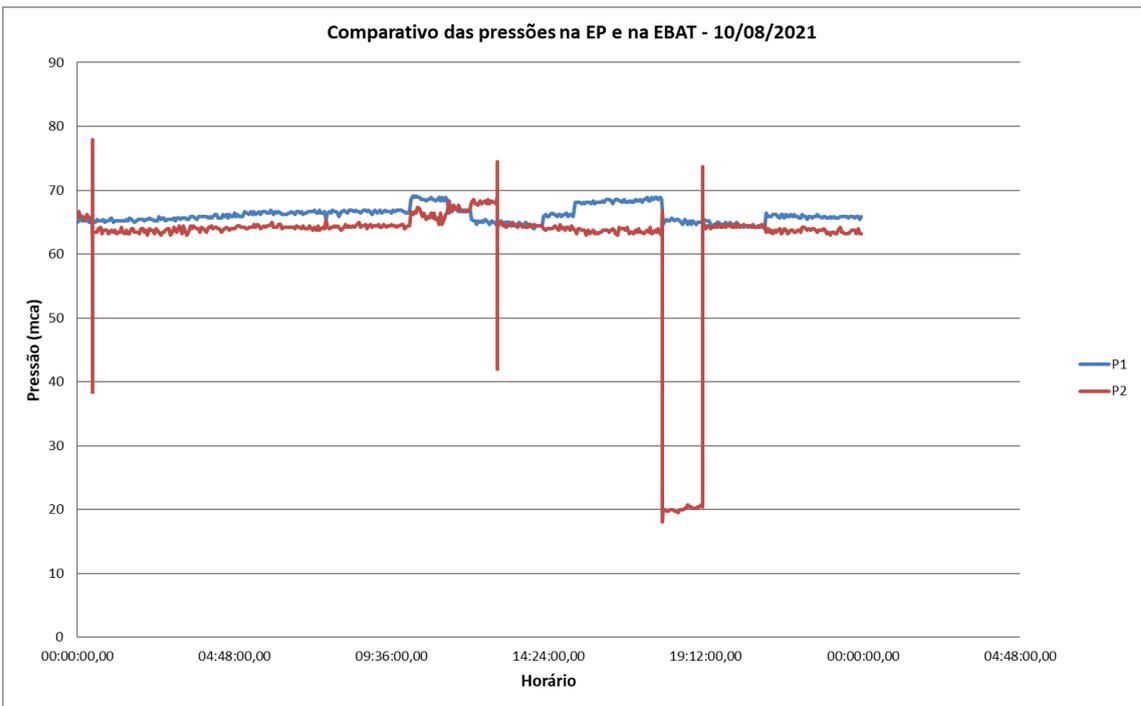
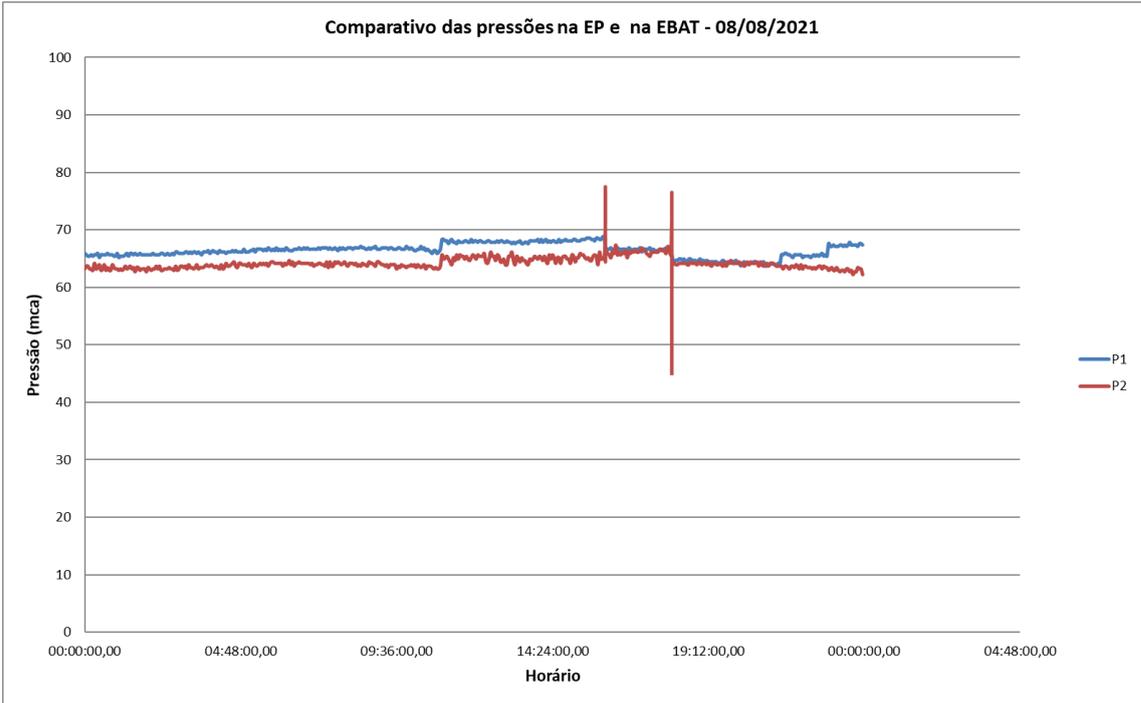
OM 03

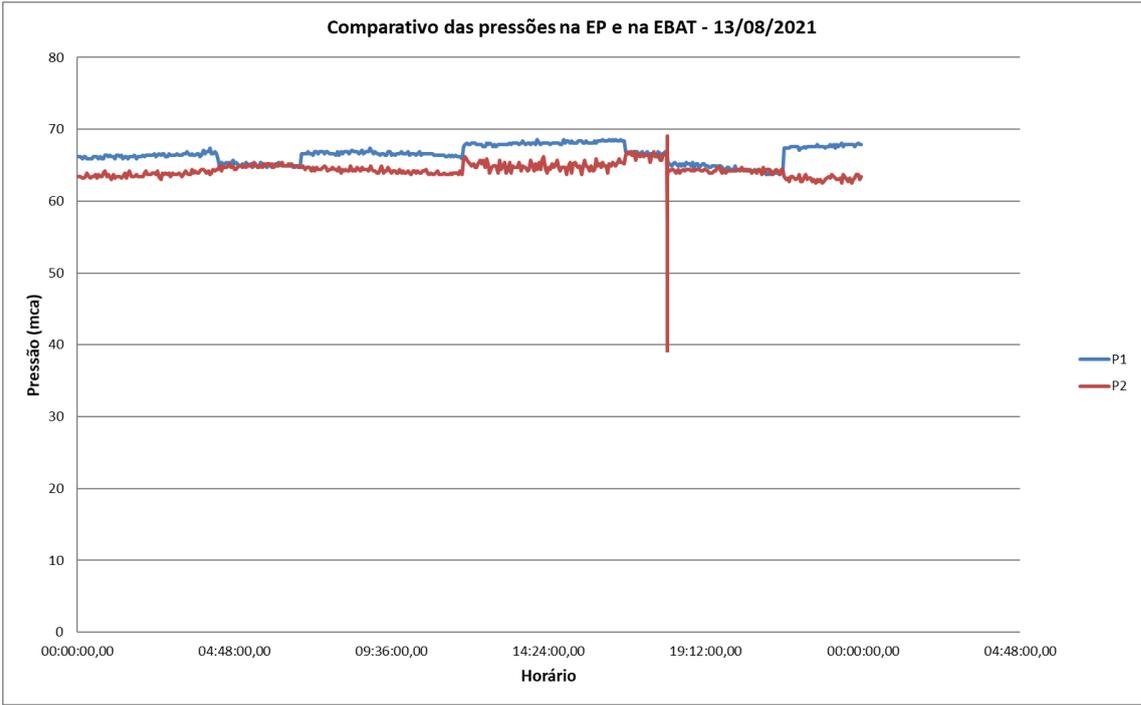
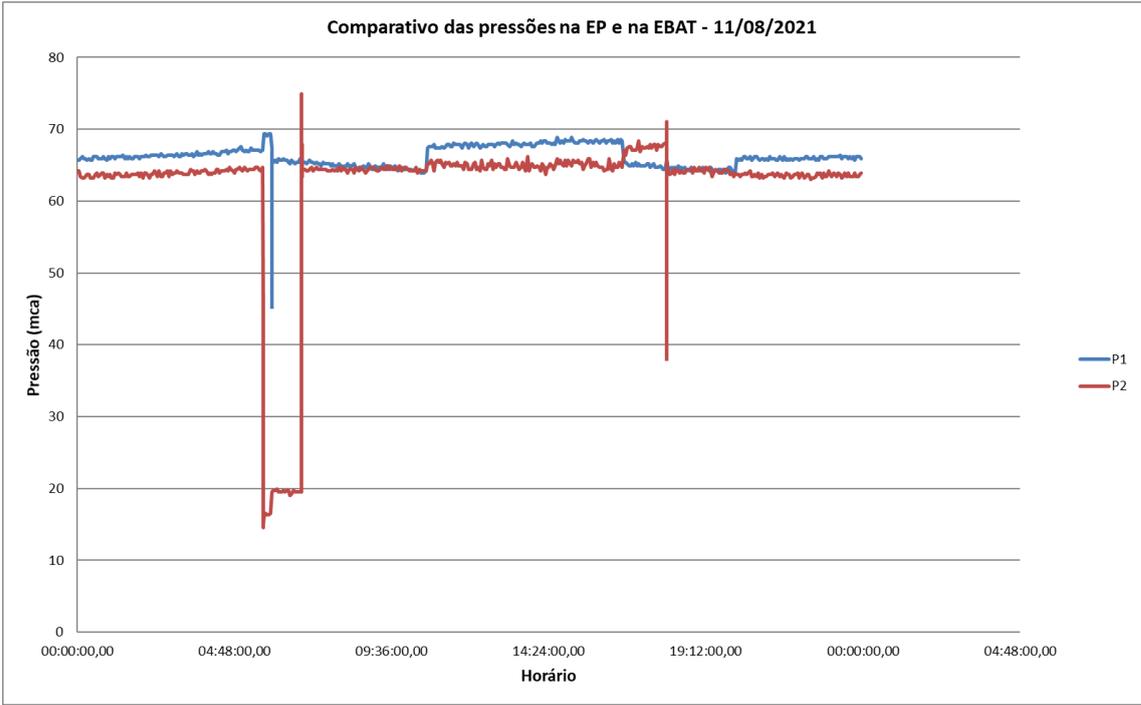
ANEXO F - Gráficos de Pressão EBAT Oscar Pereira/RES Primeiro de Maio de 17/08 até 23/08/2021.

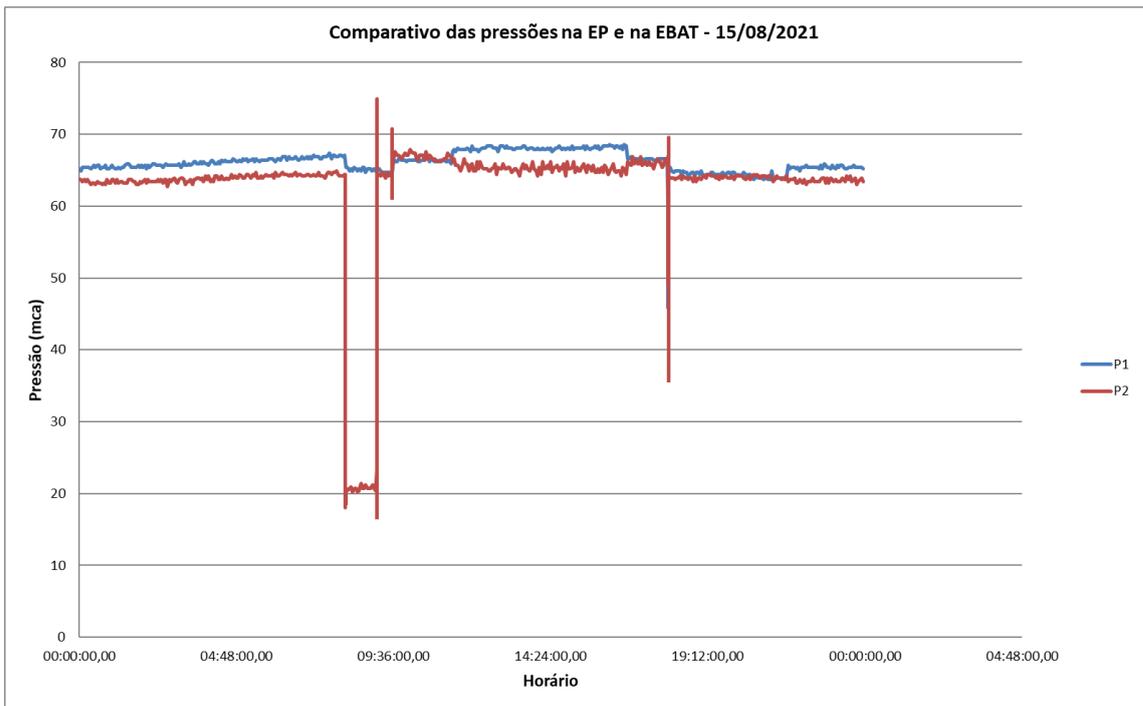
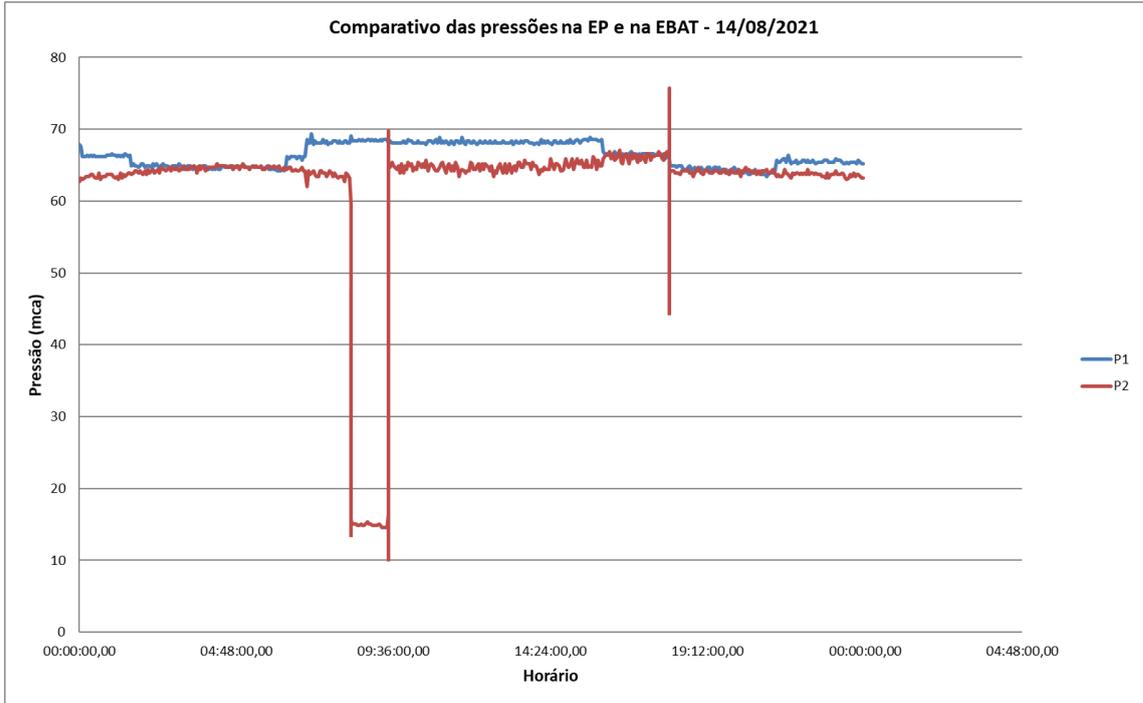


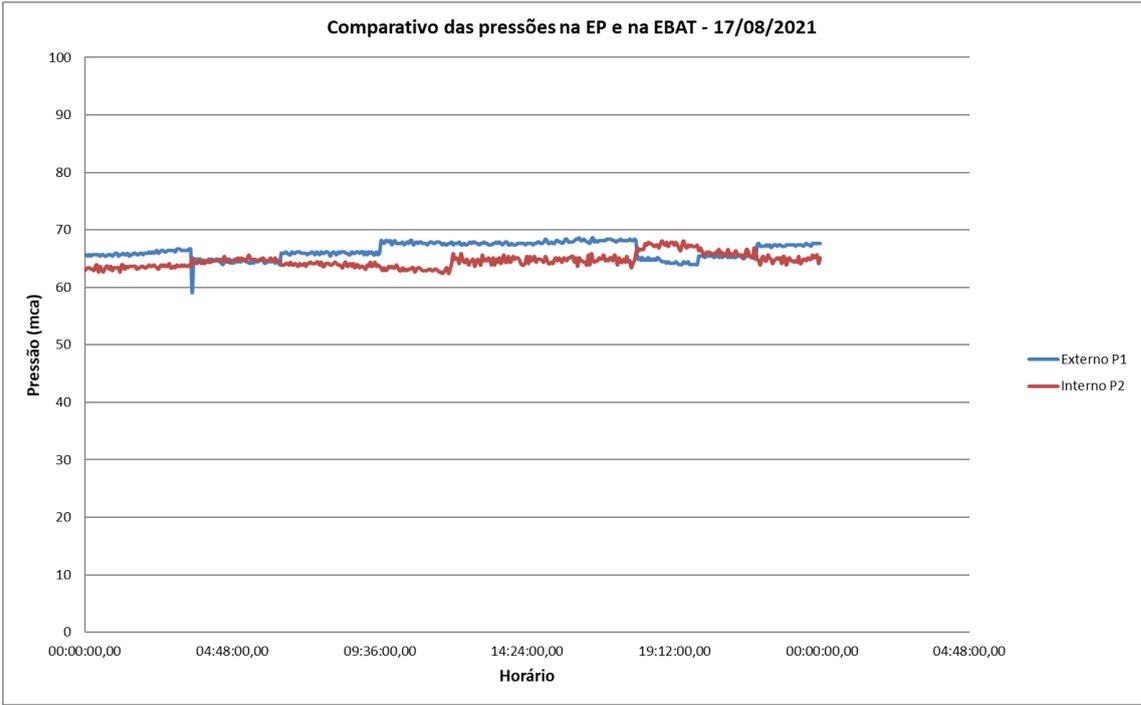
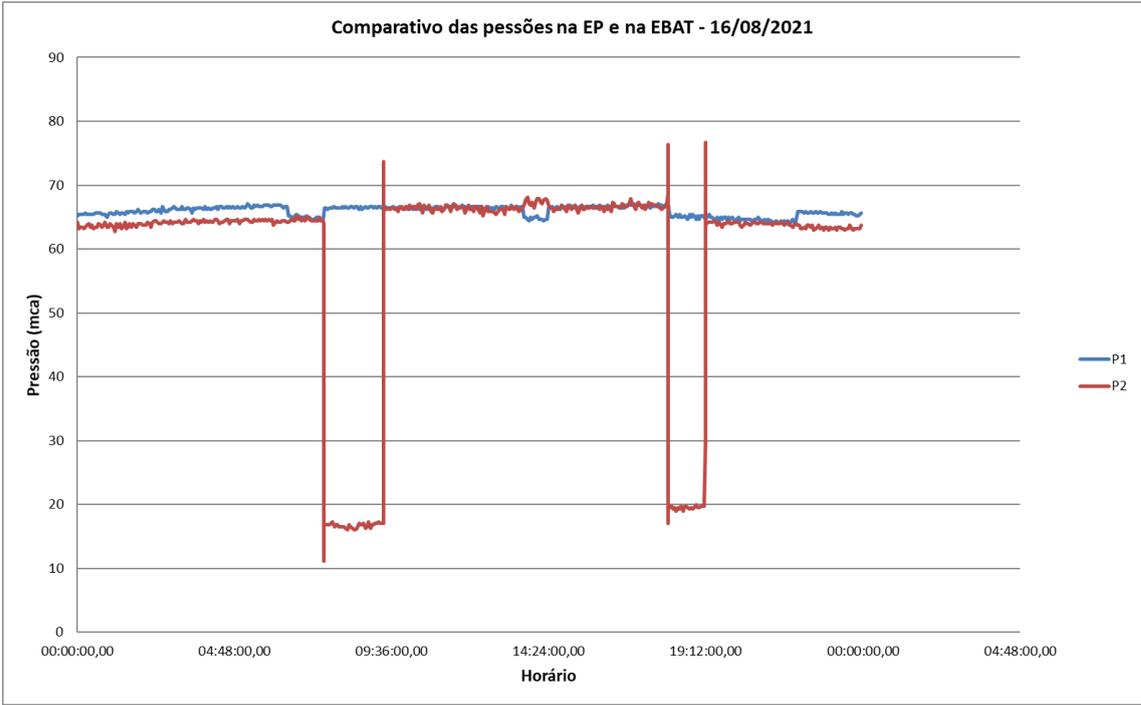


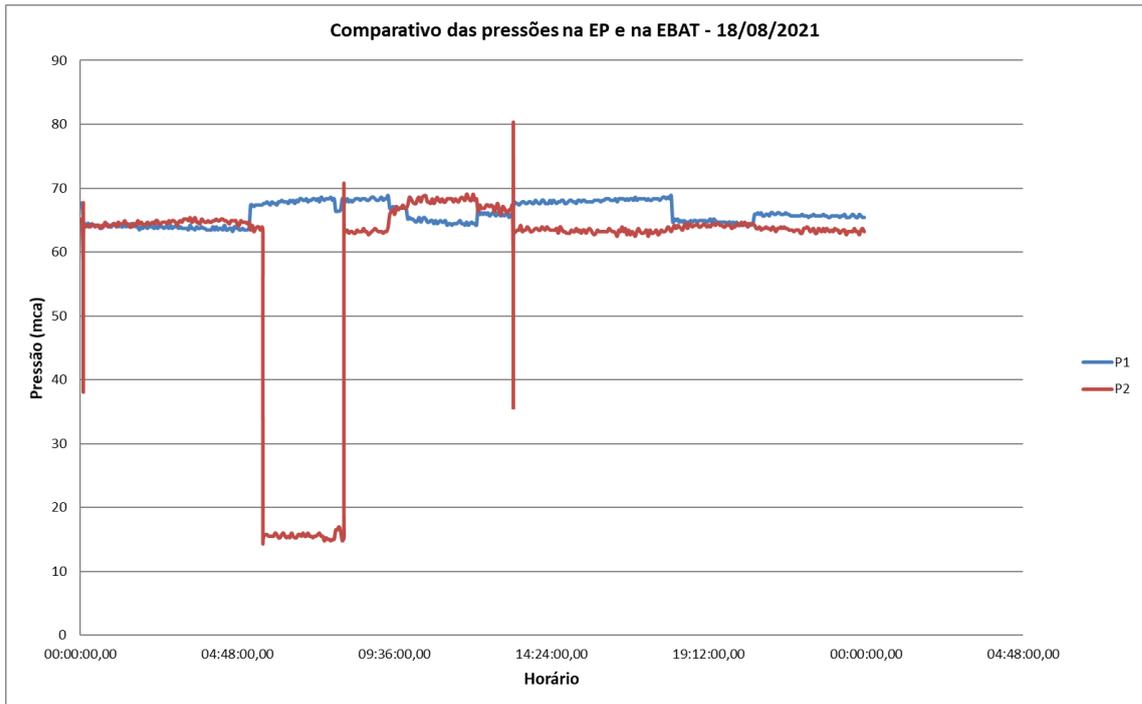
ANEXO G - Gráficos de Pressão EBAT Cascatinha/RES Catumbi de 08/08 até 19/08/2021.











ANEXO H - Gráficos de Pressão EBAT Cascatinha/RES Caieira de 07/08 até 16/08/2021.

