

# ETA Guaraú: sistema de filtração, operação e manutenção operacional

MÁRIO JINITH OMORI

Engenheiro Industrial Químico, chefe do Departamento de Produção Norte da Sabesp

CÉLIO MÁRCIO FILGUEIRAS GALVÃO

Engenheiro Civil, pós-graduado em Engenharia Sanitária e Ecologia Aplicada, chefe da Divisão do Sistema Cantareira de Água Tratada, Sabesp.

**D**entro do processo de tratamento, a fase da filtração é aquela que deve ser acompanhada com maior rigor, desde a fase do projeto até a manutenção operacional. Alguns cuidados e recomendações poderão aumentar a vida útil do filtro por longos anos. Apesar de as recomendações aqui citadas serem executadas na Estação de Tratamento de Água do Guaraú ( $Q = 33\text{m}^3/\text{s}$ ), as mesmas valem para qualquer instalação. Neste trabalho, os autores mostram os critérios de projeto, performance e os cuidados operacionais que a ETA do Guaraú vem realizando nestes 15 anos de operação.

Numa estação de tratamento de água, o sistema de filtração é a obra mais dispendiosa, não só pelo material filtrante mas também pela existência de válvulas, tubulações, instrumentação e sistema de lavagem dos mesmos. A filtração é a fase mais importante e delicada do processo de tratamento, onde é feito um polimento na qualidade da água, com remoção final de partículas em suspensão, bem como de microorganismos e bactérias presentes na água.

No projeto da ETA Guaraú foram adotados filtros rápidos de dupla camada, areia e carvão antracito. Foram, sem dúvida, um dos grandes avanços tecnológicos que a Sabesp incorporou neste projeto.

Há quinze anos as ETAs da Região Metropolitana de São Paulo — e isso pode ser generalizado por todo o Brasil — tinham como concepção a utilização de filtros rápidos de areia, com taxa de filtração de  $120\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ , com a introdução de camada dupla filtrante e operação da taxa constante.

Após estes anos de operação, os resultados obtidos mostraram o acerto do projeto original e encorajaram a manter o mesmo sistema para as aplicações subseqüentes da ETA, que contará com 48 filtros para tratar a vazão nominal de  $33\text{m}^3/\text{s}$ . Cada filtro tem a produção aproximada de 700 l/s, vazão comparável com ETA's de muitas cidades de porte médio.

Durante estes anos de operação, surgiram questionamentos do tipo:

— Há necessidade de ter um turbidímetro contínuo em cada filtro?

- É necessário medir a perda de carga?
- É necessário medir as taxas de lavagem?
- Não é exagero monitorar os filtros a esse nível?
- É necessário ter um controle de manutenção tão rigoroso?
- É necessário treinamento aos operadores de tratamento neste nível?
- Etc.

A tendência é sempre ir pelo caminho da simplificação e do conceito errado do menor custo, em detrimento da alta performance e segurança operacional. Existem muitas ETA's que adotaram o modelo da simplificação, não realizando as manutenções adequadas, tanto nos equipamentos como na manutenção operacional do filtro, comprometendo prematuramente o sistema de filtração, com necessidades constantes de reformas.

Cabe aos supervisores e chefes de operação ter sempre em mente a necessidade de operar as instalações, pelas quais são responsáveis, de forma mais técnica e com alta segurança, propiciando uma boa qualidade de água e longevidade às instalações.

## CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE FILTRAÇÃO

Um bom projeto é meio caminho para uma boa operação. Muitas vezes, o projeto apresenta falhas que dificultam enormemente uma boa operação. Entretanto, é a operação que possui os dados necessários para uma próxima reabilitação ou construção de novos sistemas de abastecimento, e deve fornecer subsídios para a correção dos problemas existentes.

Os filtros da ETA Guaraú foram projetados para utilizar areia e carvão antracito. Além disso, a operação do filtro é a taxa constante, com controle da válvula efluente, mediante controle do nível da água na caixa do filtro.

Durante a operação normal, o filtro funciona automaticamente, sem a intervenção do operador. Quando é atingido o limite alto de perda de carga ou turbidez, um alarme avisa o operador da necessidade da lavagem de determinado filtro. Neste momento, o operador se dirige à respectiva mesa de comando dos filtros e, através de manobras nas válvulas pneumáticas, comanda a lavagem. Na mesa, ao lado das válvulas citadas, lâmpadas pilotos orientam o operador para seqüência de manobra e o tempo que cada fase da lavagem deve ser executada. Além disso, existem indicações de fim de curso das diversas válvulas que manobrou, bem como as taxas de lavagem superficial e contracorrente.

No painel central dos filtros, localizado no centro das galeiras das mesas de comando dos filtros, estão instalados os indicadores e registradores de perda de carga, turbidez, taxas de lavagem e nível do reservatório de água de lavagem. O bombeamento da água para este reservatório é automático, através de cinco bombas verticais, e existem medidores de vazão que contabilizam a água gasta nas lavagens superficial e contracorrente.

A lavagem do filtro é efetuada apenas com água, e um importante detalhe neste projeto é a existência de uma válvula macho que regula as taxas de lavagens, não permitindo a sua

variação, a não ser que seja alterada pela operação. Esta regulação é importante para o ajuste final das taxas de lavagem.

A operação de lavagem contracorrente é efetuada mediante abertura de uma válvula borboleta, situada à jusante da válvula macho. Esta válvula borboleta tem uma importante função no início da lavagem, pois executa a operação de expansão do filtro, mediante bloqueio de sua abertura por um tempo determinado, através de um *timer*. Passado este tempo, a abertura da válvula é completa, permitindo a plena lavagem contracorrente do filtro.

A lavagem superficial é feita com uma tubulação perfurada, instalada a uma certa altura do topo do carvão antracito, com controle da taxa através de outra válvula macho.

Durante a operação de filtração, estes filtros são controlados através da modulação da válvula efluente. Um sistema de borbulhamento mede o nível na caixa do filtro e comanda a abertura ou fechamento da válvula efluente, procurando manter um certo nível constante, mediante introdução de perda de carga ocasionada pela válvula borboleta, e dessa forma manter a taxa de filtração constante.

Estes filtros foram projetados para operar a taxa de  $340\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ , quando todos estiverem em funcionamento, e com taxa de  $380\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ , quando dois filtros estiverem fora de operação.

Abaixo da camada suporte, está localizado o fundo do filtro em concreto pré-moldado.

Para evitar possibilidade do filtro operar com perda de carga negativa, existe um vertedor no canal de água filtrada geral, cuja crista está na cota da interface antracito-areia. A profundidade do filtro foi projetada para permitir perda de carga disponível de aproximadamente 3 metros, pois proporciona uma lâmina de água de 2,5 metros acima do topo do carvão antracito.

A água decantada é distribuída uniformemente para todos os filtros através de um vertedor localizado na entrada de cada filtro.

Os parâmetros de projetos são os mostradores no Anexo I (ver no final do trabalho, junto com outros anexos).

## INSTRUMENTAÇÃO

Cabe ressaltar o papel da instrumentação adotada no sistema de filtros.

Para a época do projeto, pode ser considerada como muito arrojada. Entretanto, um novo projeto, hoje, incorporaria sinais digitais e lavagem automática dos filtros. As mesas de comando com válvulas pneumáticas seriam substituídas por contatos elétricos e válvulas solenóides comandariam as diversas fases do sistema.

Apesar da idade do projeto, o sistema implantado apresenta excelente performance, mostrando o acerto do projeto.

Utiliza-se basicamente a instrumentação pneumática. O acionamento das válvulas é efetuado mediante pistão alimentado com pressão de trabalho de 80 PSI. O sistema de medição de perda de carga, nível e controle automático da válvula efluente é feito com ar regulado de instrumentação e pressão proporcional de 3-15 PSI.

A operação normal do filtro é automática. O nível de cada filtro é controlado pela válvula efluente, através de controle de nível pneumático e posicionador de válvula. Duas válvulas solenóides situadas em cada console e atuadas remotamente, através de uma chave de segurança, controlam o ar da linha. Estas válvulas bloqueiam o suprimento de ar para a mesa do filtro, durante a operação normal deste, prevenindo que pessoas estranhas operem as válvulas.

A única exceção é o suprimento de ar para o posicionador de válvula efluente do filtro, proporcionando ar para a operação automática do filtro. Portanto, uma segunda chave de segurança é acoplada à válvula efluente, para bloquear a válvula piloto na posição automática. Uma válvula solenóide controla fechando o suprimento de ar para a mesa; uma segunda válvula solenóide controla as duas linhas de ar (uma aberta e outra fechada) do piloto da válvula mestre da lavagem contracorrente. A função desta válvula solenóide é de controlar a retroalimentação de ar da mesa e a válvula de lavagem contracorrente, que é comum a todos os filtros.

A operação de lavagem contracorrente é manual. As válvulas dos filtros são operadas remotamente, através da correspondente mesa, por meio de válvulas pilotos manuais de ar com três posições. Durante a operação de lavagem contracorrente, a válvula piloto de três posições da válvula efluente não leva em conta a válvula de controle efluente automático. Cada válvula tem duas chaves fim de curso, atuando quando alcança plena abertura ou permanecendo fechada. Estas chaves energizam uma lâmpada indicadora e liberam o operador de filtro, auxiliando na seqüência apropriada das válvulas. Uma luz verde indica que a válvula está totalmente fechada; uma vermelha indica que a válvula está totalmente aberta.

Durante a operação de contralavagem, a válvula mestre de contracorrente é, primeiro, aberta parcialmente e bloqueia, nesta posição, para expansão do filtro. Após o período de expansão, a válvula mestre de lavagem contracorrente é totalmente aberta, permanecendo aberta durante o resto do período de contralavagem. Relés temporizadores e chaves de fim de curso das unidades acendem lâmpadas indicadoras amarelas, para auxiliar o operador de filtros.

## OPERAÇÃO E PERFORMANCE

A ETA Guaraú iniciou sua operação em dezembro de 1973. Com mais de 15 anos de operação ininterrupta, podemos analisar o comportamento destes filtros em situações de taxa nominal projetada e em vazões de tratamento acima destas.

Apesar de as premissas de projeto serem exigidas e ultrapassadas por períodos relativamente longos, até a concretização das obras de expansão, a resposta dos filtros, quando traduzidas em confiabilidade operacional, qualidade e quantidade de água produzida, revelam o bom projeto das instalações.

Outro fator preponderante se revelou importante neste período, qual seja, a integração do pessoal operacional com as instalações construídas, permitindo explorar e exigir o máximo das mesmas.

Basicamente, o sistema de filtros da ETA Guaraú tem o leito filtrante constituído de 53 centímetros de carvão antracito e 30 centímetros de areia com área filtrante de  $176\text{m}^2$ .

O monitoramento contínuo da turbidez e perda de carga indicam ao operador a necessidade de lavagem do filtro. O sistema de lavagem instalado está evitando a perda de carvão antracito, tão comum neste tipo de filtro, e a lavagem superficial está evitando a formação de bolas de lodo.

Quando o sistema de alarmes acusa turbidez (0,3 UT) ou perda de carga elevada (2,8m), o operador inicia a lavagem, introduzindo água de lavagem contracorrente no fundo falso do filtro, de forma suave, mediante uma válvula que é bloqueada por alguns minutos, enquanto a taxa de lavagem contracorrente realiza a expansão requerida do leito. Após esse período, a válvula é comandada para fornecer taxas de  $1.100\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$  (0,76 m/min), não ocasionando choques bruscos à camada do leito filtrante.

No início do funcionamento do filtro, após a lavagem, o

processo de filtração da água reinicia, também suavemente, com taxa controlada pela válvula efluente, próximo a valores nominais, pois, estando o leito limpo, a tendência de abaixamento rápido do nível é contrabalanceada pelo estrangulamento da válvula efluente. À medida que a perda de carga vai aumentando, eleva-se o nível de água na caixa do filtro e o controlador de nível vai comandando a abertura da válvula até que esta esteja totalmente aberta e a perda de carga no seu valor máximo.

Atualmente existem 32 filtros e estão sendo construídos mais 16, completando os 48 do projeto completo, capacitando a ETA a tratar 33 m<sup>3</sup>/s. Como as etapas de construção *sempre acompanham as necessidades da demanda de água, as instalações são sobrecarregadas ao máximo, até a conclusão da etapa da obra.*

No caso da ETA Guaraú, em 1973, foram colocados em operação 16 filtros com 4 decantadores, e estas unidades trabalharam até 1982, quando entraram em operação outros 16 filtros, permanecendo os 4 decantadores originais.

De 1973 a 1982, a vazão da ETA foi crescendo até atingir Q = 15,982 m<sup>3</sup>/s de média anual, e os filtros trabalharam com taxas de aplicação de 466m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d em média anual. A partir de 1982, entraram em operação mais 16 filtros, ficando dessa forma após a filtrar a vazão nominal de Q = 22 m<sup>3</sup>/s. A média de vazão tratada em 1986 foi de Q = 22,070 m<sup>3</sup>/s e as taxas de filtração se situaram em 355 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d, praticamente em taxas nominais de projeto.

Atualmente estamos com vazões médias da ordem de Q = 27 m<sup>3</sup>/s e taxa de 430 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d e carreira de filtração da ordem de 20 horas, conforme Anexo 2.

Observa-se também que, apesar das taxas elevadas a que estão sendo submetidos os filtros em 1988, já tivemos em anos anteriores situações muito piores, como a ocorrida em 1981, quando se alcançaram taxas de ordem de 466 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d, cerca de 37% acima da nominal. Se analisarmos o comportamento mensal, constatamos que as taxas alcançaram valores de até 508 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d como média, quase 50% acima da taxa nominal.

Verifica-se, entretanto, que, ao se cessar a sobrecarga, os filtros retornam à sua condição de normalidade, não se registrando o aparecimento de pressões negativas, rachaduras no meio filtrante, perda de material, aparecimento de bolas de lodo etc. A turbidez da água filtrada esteve sempre em valores muito baixos e a carreira de filtração se mantendo em torno de 20 horas.

Visualizam-se, nos Anexos 3 e 4, os detalhes construtivos dos filtros da ETA Guaraú.

## MANUTENÇÃO OPERACIONAL

A saúde de um filtro deve ser acompanhada continuamente, mediante execução de testes específicos e numa frequência predeterminada. Os dados obtidos devem ser analisados, os problemas identificados e promover ações de correção das condições deficientes ou estabelecer critérios de acompanhamento

das anomalias para uma ação corretiva após um determinado período.

Um filtro que apresenta boa performance trará como resultado a produção de água em quantidade e qualidade, minimizando o consumo de água de lavagem, aliado à baixa manutenção do sistema de filtração.

Para um bom acompanhamento do sistema de filtração, deverão ser executados os seguintes levantamentos e testes:

- 1 - Determinação da área do filtro;
- 2 - Análise granulométrica das camadas filtrantes;
- 3 - Altura média dos materiais filtrantes;
- 4 - Altura total do leito filtrante;
- 5 - Altura entre o topo da camada filtrante até o sistema de lavagem superficial, se for aplicável;
- 6 - Distância entre o topo do material filtrante até a borda inferior da canaleta de coleta de água de lavagem;
- 7 - Verificar o nivelamento da canaleta de coleta da água de lavagem;
- 8 - Determinar taxa de filtração antes e depois da lavagem do filtro;
- 9 - Determinar a expansão do leito filtrante;
- 10 - Determinar o perfil da camada suporte;
- 11 - Determinar a concentração de bola de lodo;
- 12 - Verificar a aferição dos sistemas de medição de perda de carga;
- 13 - Verificar a aferição do sistema de medição de turbidez;
- 14 - Verificar a aferição do sistema de medição de nível;
- 15 - Determinação do tempo ótimo de lavagem contracorrente.

A vida útil dos filtros pode ser aumentada mediante correção dos problemas detectados nos testes de funcionamento. Além destes, deve-se avaliar o estado geral do funcionamento dos equipamentos de lavagem e controle do processo de filtração, mediante um adequado programa de manutenção preventiva.

Os problemas mais comuns encontrados nos filtros de camada dupla ou simples descendentes são aqueles provenientes da deficiência da lavagem contracorrente e superficial, tais como:

- Perda de material filtrante;
- Aparecimento de bolas de lodo;
- Necessidade de limpeza profunda das camadas filtrantes;
- Necessidade de desinfecção do leito filtrante;
- Compactação e encolhimento da camada filtrante com aparecimento de rachaduras;
- Rachaduras na camada filtrante ao longo das paredes do filtro;
- Áreas tamponadas no leito filtrante, ocasionado pela presença de bolas de lodo e alta perda de carga.

A equipe de operação deve estar consciente da importância do manejo dos filtros e saber que uma simples observação durante uma lavagem pode conduzir a uma inspeção mais detalhada e corrigir os problemas antes da deterioração das instalações.

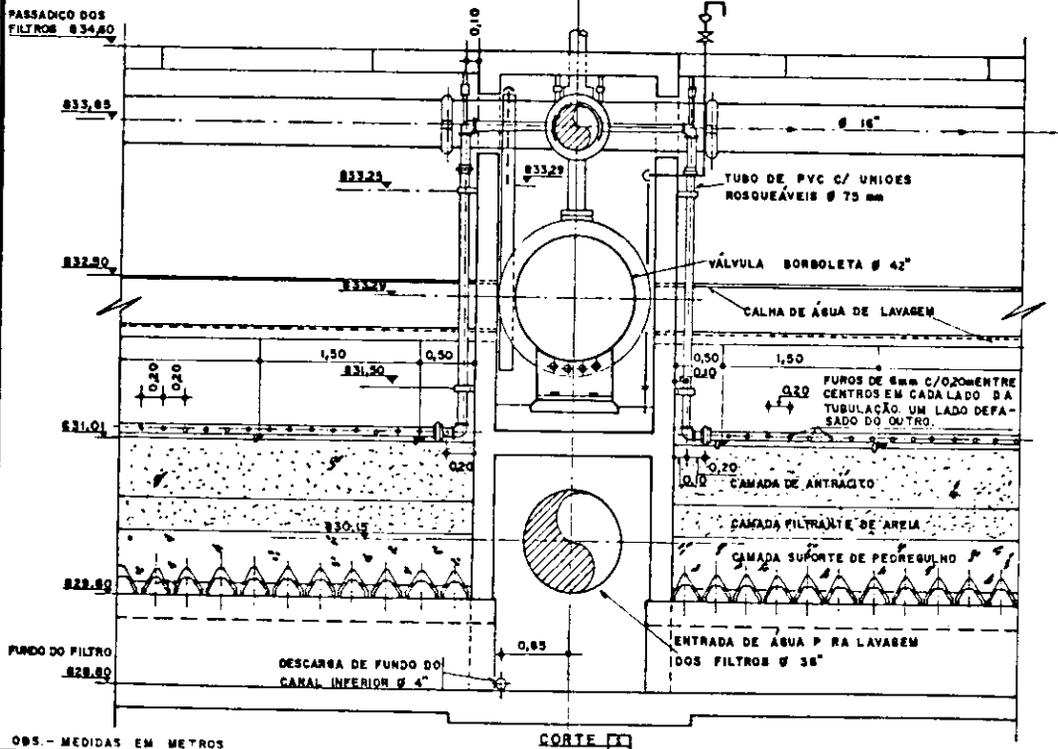
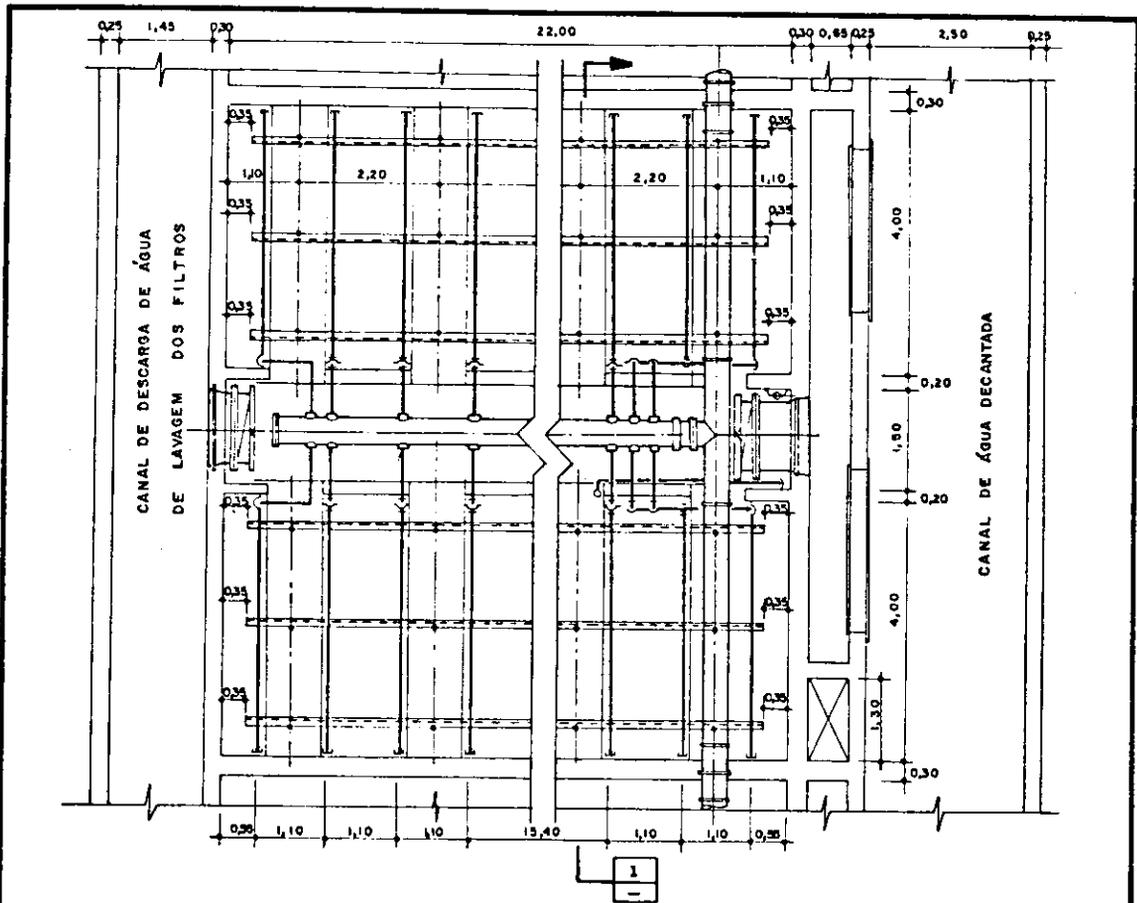
DESCRIÇÃO	UNIDADES			
Capacidade da Estação	m <sup>3</sup> /s	11	22	33
<b>FILTROS</b>				
Tipo: Rápidos, dupla camada de areia e carvão antracito				
Número de filtros	ud	16	32	48
Taxa de filtração				
- Todos os filtros em serviço	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x dia	337,50	337,50	337,50
- Com 1/8 dos filtros fora de operação para retro lavagem	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x dia	385,71	385,71	385,71
Vazão de filtração				
- Todos os filtros em serviço	m <sup>3</sup> /s	0.69	0.69	0.69
- Com 1/8 dos filtros fora de operação para retro lavagem	m <sup>3</sup> /s	0.79	0.79	0.79
Área da superfície filtrante				
- Por filtro	m <sup>2</sup>	176	176	176
- Total	m <sup>2</sup>	2.816	5.632	8.448
Dimensões internas nas câmaras dos filtros. Duas câmaras por filtro cada uma.	m	4 x 22	4 x 22	4 x 22
Meio filtrante				
- Pedregulho graduado 1-1/2 até nº 14 - profundidade:	cm	46	46	46
Areia - profundidade:	cm	30	30	30
Areia tamanho efetivo	mm	0.41-0.45	0.41-0.45	0.50-0.55
Areia				
- Coeficiente de uniformidade	menor que	1.55	1.55	1.55
Carvão antracito profundidade	cm	53	53	53
Carvão "tamanho efetivo"	mm	0.85-0.90	0.85-0.90	-
- Se o peso específico 1,50	mm	-	-	1.0 - 1.1
- Se o peso específico 1,45	mm	-	-	1.1 - 1.20
Coeficiente de uniformidade	menor que	1.7	1.7	1.7
Carvão antracito. Peso específico	ud	1.5 - 1.6	1.5 - 1.6	1.5 - 1.6
Carvão antracito: Dureza	MOH	2.2	2.2	2.7
Fundo falso: Pré-moldado em concreto				
Lavagem em contra-corrente				
- Taxa máxima (0,76 m/min)	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d	1.100	1.100	1.100
- Vazão máxima de lavagem por filtro com duas câmaras	m <sup>3</sup> /s	2.24	2.24	2.24
Lavagem superficial				
- Taxa máxima (0,127 m/min)	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d	182	182	182
- Vazão máxima de lavagem por filtro	m <sup>3</sup> /s	0.37	0.37	0.37
Volume d'água requerido para uma lavagem completa de um filtro (duração: 8 min)	m <sup>3</sup>	1.253	1.253	1.253
Reservatório de água de lavagem				
- Capacidade de cada	Nº	1	2	2
- Cota máxima do nível d'água acima das bordas das calhas dos filtros	m	27±	27±	27±
- Bombas de água de lavagem	Nº	3	5	8
- Capacidade de cada bomba	m <sup>3</sup> /s	0.28	0.28	0.28

## Evolução dos Dados Operacionais da Eta Guarauá

ANO	VAZÃO DA ÁGUA TRATADA (m <sup>3</sup> /s)	SULFATO ALUMÍNIO (mg/l)	TURBIDEZ ÁGUA BRUTA (FTU)	TURBIDEZ ÁGUA FINAL (FTU)	TAXA DE FILTRAÇÃO (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)	ÁGUA DE LAVAGEM (%)	CARREIRA FILTRAÇÃO (h)
1973	0,175						
1974	2,055	21,8	18,4	0,19	301	0,98	51,6
1975	3,673	20,2	24,6	0,41	296	1,37	48,6
1976	5,889	14,5	34,0	0,91	320	1,87	30,6
1977	9,036	13,2	22,1	0,36	287	2,01	34,9
1978	10,485	11,5	20,8	0,28	321	1,99	26,1
1979	12,040	13,9	18,3	0,25	378	2,17	22,3
1980	14,201	13,4	25,3	0,29	444	1,82	22,4
1981	14,702	14,6	18,9	0,24	466	1,94	28,9
1982	15,982	14,4	12,4	0,22	374	1,95	28,9
1983	17,490	11,1	23,3	0,18	294	1,71	43,8
1984	19,045	9,4	8,4	0,15	304	1,48	36,4
1985	19,728	9,5	7,5	0,14	309	1,57	30,5
1986	22,070	10,5	9,6	0,17	355	1,93	23,6
1987	25,720	11,6	14,4	0,16	404	1,91	19,9
* 1988	26,845	9,8	10,6	0,17	422	1,84	19,2

\* Até outubro/88

ANEXO 3



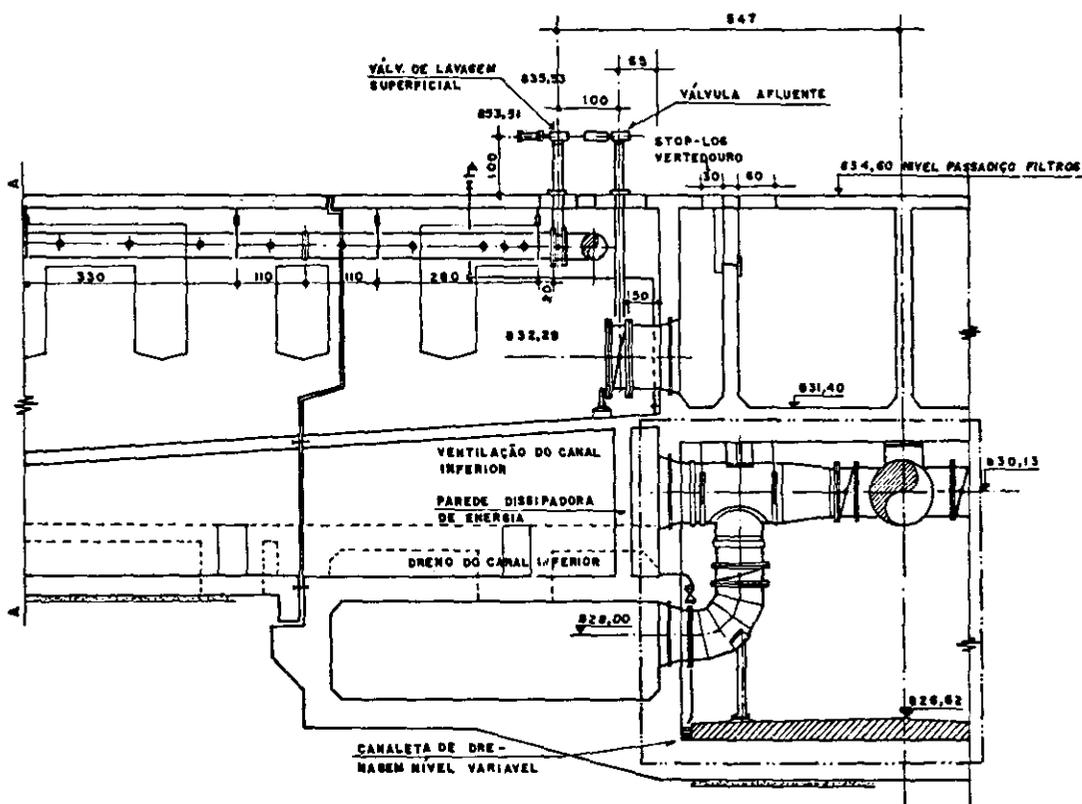
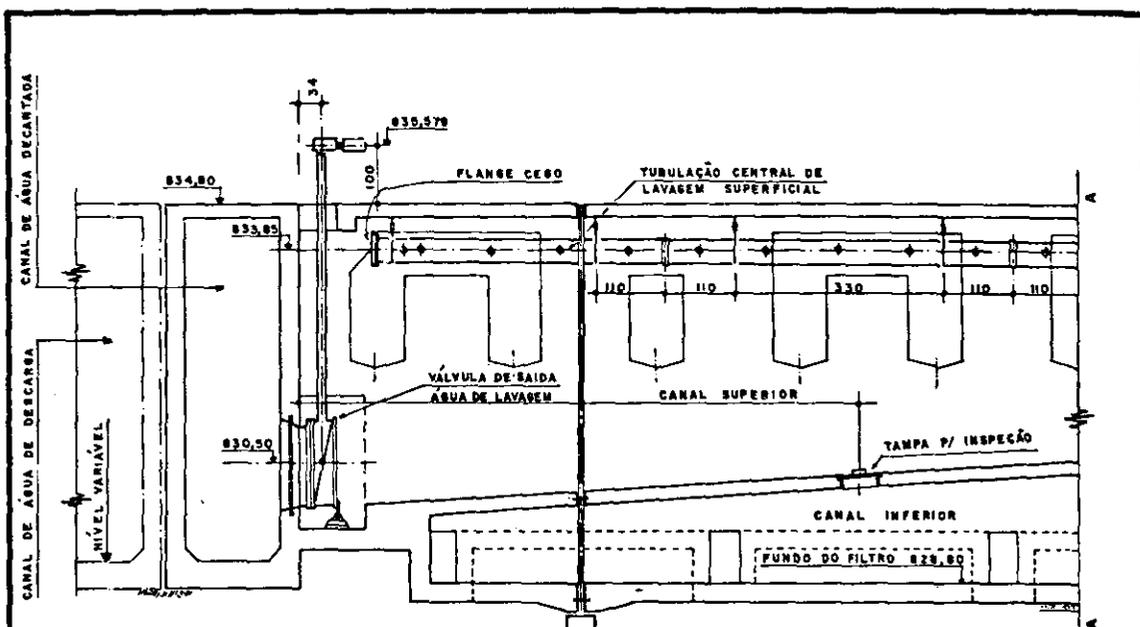
095 - MEDIDAS EM METROS

sabesp VISTO E ACEITO		companhia de saneamento básico do estado de são paulo			Nº
ANALISADO	/ /	SISTEMA CANTAREIRA			1146-041-E
ACEITO	/ /	ÁREA PROJ. ETA GUARAÚ - TUBULAÇÕES DO FILTRO		REV.	FL.
VISTO	/ /	SUB-ÁREA PROJ. PLANTA E CORTE			1777
EXECUTADO		DES. MARLENE	05/07/89	Nº CONTRATADA	
IID/AIP/02-Cadastro		PROJ.	/ /	APROVADO POR	ESCALA
				ASS. CREA	S/ ESCALA

Le mac.

DAE

ANEXO 4



OBS-MEDIDAS EM CENTÍMETROS

sabesp VISTO E ACEITO		companhia de saneamento básico do estado de são paulo			Nº 046-041-E	
ANALISADO	/ /	SISTEMA CANTAREIRA			REV.	FL.
ACEITO	/ /	ÁREA PROJ. ETA GUARÁU - FILTROS		Nº CONTRATADA		
VISTO	/ /	SUB-ÁREA PROJ. CORTE		ESCALA		
EXECUTADO		DES. MARILENE	7 / 7 / 89	APROVADO POR		
DD / A / MP / 02 - Cadastro		PROJ.	/ /	ASS.	CREA	/ /
				5 / ESCALA		

Lamec

DAE