



Caracterização da água de lavagem de uma estação de tratamento de água, com vistas ao reúso

Ana C. L. S. M. de Menezes¹; Carmem L. M. Gadelha²; Wamberto R. da Silva Júnior²;
Taysa T. V. Machado² & Tânia M. V. de Almeida¹

¹ CAGEPA. Rua Saffa Said Abel da Cunha, nº 317, Tambauzinho, João Pessoa, PB. CEP 58042-220. Fone: 83-3225-5228, e-mail: anacarolinasa@cagepa.pb.gov.br

² DEC/UFPB. Cidade Universitária, Centro de Tecnologia. João Pessoa, PB. CEP 58059-900. E-mail: carmemgadelha@yahoo.com.br

Protocolo 119

Resumo: Este trabalho tem como objetivo a caracterização do efluente líquido descartável (sobrenadante das lagoas de lodo e a água de lavagem dos filtros) da ETA/Gramame, João Pessoa, Paraíba, com vistas ao reúso no início do processo de tratamento. De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que as características físico-químicas do referido efluente apresentaram, em geral, comportamento similar aos da água bruta da ETA, captada no rio Gramame. Exceção ocorreu para o parâmetro alumínio, que no efluente foi bem mais elevado. Dessa forma, o reaproveitamento dos volumes de água utilizados na lavagem dos filtros e limpeza dos decantadores de uma ETA, deve passar por um controle mais efetivo na adição do sulfato de alumínio no processo de tratamento e nas operações de limpeza dos decantadores e lavagem dos filtros.

Palavras-chave: qualidade da água, efluentes, reaproveitamento

Characterization of disposable effluent from filters washing at a water treatment plant aiming its reuse

Abstract: This paper deals with the characterization of the disposable liquid effluent (supernatant from sludge ponds and water from filter washing) at the ETA/Gramame (water treatment plant) in João Pessoa, Paraíba State, aiming at its reuse in the treatment process. The results obtained showed that the physicochemical characteristics of effluent had behavior similar to original natural water from the Gramame River impounded at the ETA/Gramame, with the exception of aluminium, which had high concentration in the effluent. Thus, the reuse of water volumes employed for washing filters and cleaning decanters in an ETA (water treatment plant) must be under more effective control when aluminium sulphate is added to the water treatment process.

Key words: water quality, effluent, reuse

INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado das populações e o desenvolvimento industrial e tecnológico, que vêm ocorrendo mundialmente nos últimos anos, têm levado a uma demanda de água cada vez maior, razão porque as poucas fontes de água doce do planeta hoje disponível, já estão comprometidas ou estão vulneráveis às poluições. Esses fatores têm aumentado, entre os povos, a disputa pela água, dado que, sua disponibilidade tornou-a limitada, pelo comprometimento de sua qualidade. No Brasil, a referida situação de disputa pela água atingiu um nível tal, que conflitos de uso são fartamente detectados nas regiões mais carentes, especialmente no semi-árido.

A possibilidade de colapso das reservas de água doce em um futuro próximo, tem feito com que a água passe cada vez mais a ser considerada um recurso natural, com valores econômico, estratégico e social. Assim, nos dias atuais há um sentimento crescente relacionado às exigências ambientais, de proteção aos mananciais, considerando-se o uso racional da água e o reúso, como ferramentas importantes para as indústrias, inclusive a da produção de água tratada, que buscam minimizar problemas relacionados à disponibilidade hídrica e ao lançamento de efluentes, cada dia mais premente.

A reciclagem, ou reúso de água, não é um conceito novo na história do nosso planeta. A natureza, por meio do ciclo hidrológico, vem reciclando e reutilizando a água há milhões de anos e com muita eficiência. Cidades, lavouras e indústrias já

praticam, há muitos anos, de forma indireta ou pelo menos não planejada, o reúso, pois geralmente usuários de jusante captam águas que já foram utilizadas e devolvidas aos rios, pelos usuários de montante (FIESP/CIESP, 2004).

As estações de tratamento de água (ETAs) representam uma necessidade básica visto que têm a finalidade de produzir água potável proporcionando, desta forma, melhores condições de saúde e higiene à população, porém no processo de tratamento da água também ocorre um elevado consumo de água na limpeza e lavagem de decantadores e filtros, gerando o efluente descartável. A disposição inadequada deste efluente, em corpos hídricos, tem mostrado ser extremamente danosa, seja pela provável toxidez dos resíduos gerados no processo e presentes neste efluente, seja pelo aumento da quantidade de sólidos e da turbidez da água no corpo receptor, que podem comprometer a estabilidade da vida aquática. O efluente descartável apresenta uma composição bastante variada, sendo constituído principalmente do material em suspensão, originalmente presente na água bruta, e das substâncias químicas adicionadas à água (coagulantes) para tratá-la (Menezes, 2005).

Sob esta ótica, o consumo, muitas vezes excessivo, de água na limpeza das ETAs, aliado ao problema de sua escassez e à necessidade de preservação dos recursos ambientais, resulta também em uma estratégia de redução dos desperdícios no processo, mediante aumento direto de sua eficiência e, quando viável, da recuperação da água de lavagem para o próprio abastecimento ou para outros usos qualitativamente menos restritivos das águas recuperadas.

De acordo com Ferreira & Laje Filho (1999), a concepção do sistema de recuperação de água de lavagem é profundamente

dependente das características da água bruta, dos sistemas de filtração e de lavagem, do tipo de pré-tratamento ao qual a água afluenta aos filtros é submetida e das características exigidas para a água recuperada.

Neste contexto, o presente trabalho tem como principal objetivo caracterizar o efluente líquido descartável da ETA/Gramame (sobrenadante das lagoas de lodo dos decantadores mais a água de lavagem dos filtros) com vistas ao reúso no início do processo de tratamento de água, para abastecimento público, identificando-se, assim, oportunidades para redução da captação em mananciais para atender à demanda.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da ETA/Gramame

O estudo foi desenvolvido na Estação de Tratamento de Água – ETA/Gramame, a maior do Estado da Paraíba e responsável pelo abastecimento das cidades de Cabedelo e João Pessoa, capital do Estado. A referida ETA tem capacidade para tratar até 2.200 L s^{-1} de água proveniente do reservatório Gramame/Mamuaba (formado pelo barramento dos rios Gramame e Mamuaba). É do tipo convencional de ciclo completo, constando das etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, correção de pH e desinfecção. Utiliza, atualmente, no processo de tratamento, sulfato de alumínio, cal hidratada e cloro gasoso. O sistema de produção de água tratada na ETA se inicia na captação, de onde a água é bombeada através de tubos de 1.200 mm, tendo 1.740 m de comprimento até a ETA. A Figura 1 é uma representação esquemática do sistema de captação e tratamento de água utilizado na ETA/Gramame.

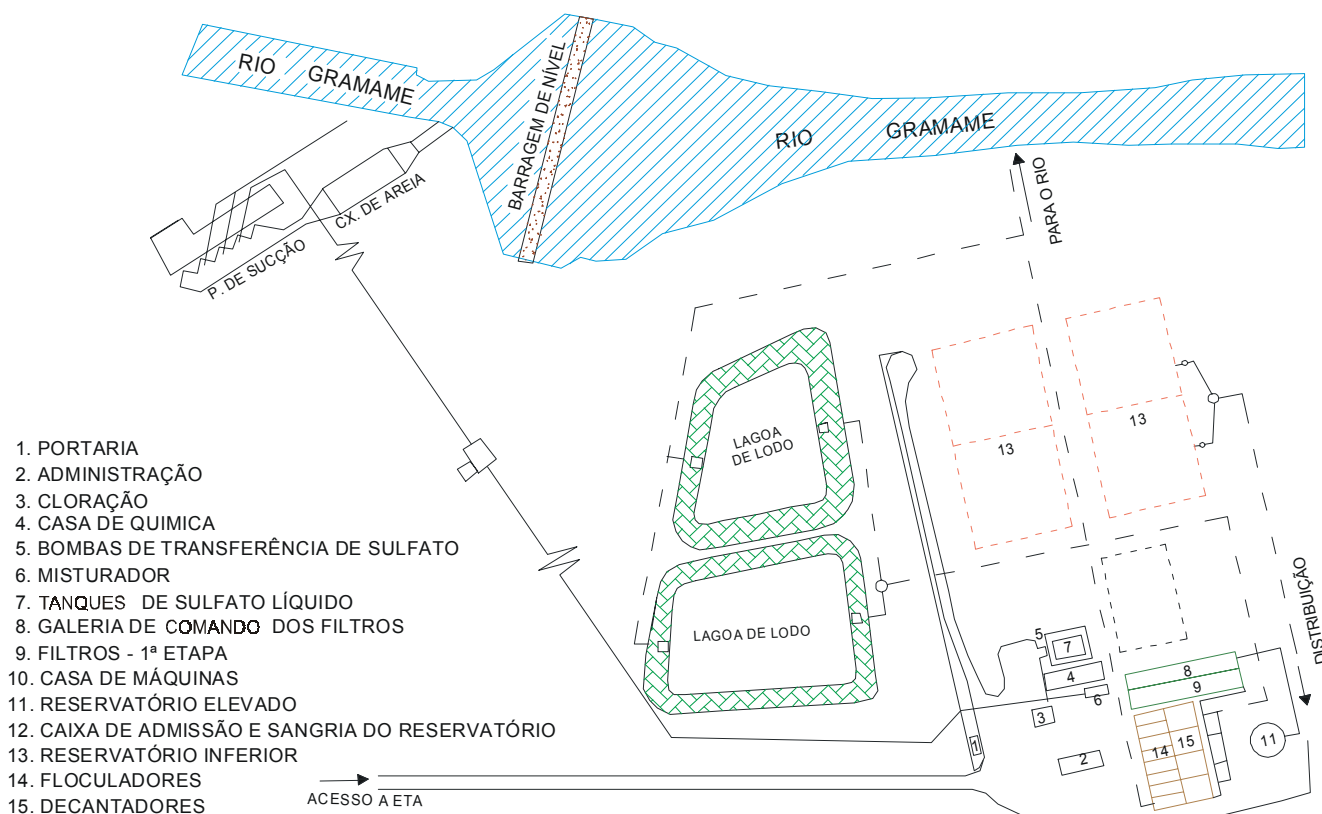


Figura 1. Planta esquemática do sistema de captação e tratamento d' água, utilizada na ETA/Gramame

Na ETA há geração de efluente descartável em duas das suas etapas: decantação, quando o lodo acumulado no fundo dos decantadores é retirado com a abertura do registro de descarga, auxiliado por força hidráulica; filtração, quando das lavagens contra corrente dos filtros, efetuadas periodicamente. O lodo retirado dos decantadores é encaminhado às lagoas de lodo. O efluente sobrenadante dessas lagoas se junta com a água de lavagem dos filtros, formando o efluente líquido descartável e, em seguida, é lançado no rio Gramame à jusante do reservatório Gramame/Mamuaba.

Campanha de amostragem e análise do efluente

Foram realizadas, neste estudo, 7 campanhas de amostragem nos pontos GR (água bruta - rio Gramame à montante do lançamento do efluente descartável da ETA) e PL (efluente líquido descartável - tubulação onde se juntam o sobrenadante das lagoas de lodo e a água de lavagem dos filtros). O período de amostragem compreendeu os meses de maio a dezembro de 2004, com frequência de coleta de 30 dias.

As amostras foram coletadas 5 min aproximadamente, após o lançamento concomitante do efluente de lavagem dos filtros com sobrenadante das lagoas de lodo.

Realizaram-se as seguintes análises: pH, temperatura, condutividade, alcalinidade, cor, turbidez, dureza, cloretos, sólidos totais (ST), alumínio, magnésio, cádmio, chumbo, cobre, ferro, manganês, níquel, zinco, mercúrio e cromo.

Os procedimentos de coleta, preservação, preparação e análise das amostras, seguiram o “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995)”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apesar do objetivo principal deste estudo ter sido a caracterização do efluente líquido descartável da ETA/Gramame, visando ao reúso, a análise da qualidade da água bruta do rio Gramame foi feita tão somente para comparar suas características com aquelas do efluente considerado tendo-se, desta forma, uma idéia da viabilidade técnica do reúso do efluente em questão.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da análise dos parâmetros físico-químicos e metais pesados do efluente líquido descartável da ETA - Gramame (ponto PL); nela, constam os limites máximos permitidos desses parâmetros, pela Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, para água bruta de mananciais da Classe 2. Esta Classe foi considerada por ser a mesma na qual está inserido o rio Gramame, desde o local de captação para a ETA até o ponto GR (água bruta - rio Gramame à montante do lançamento do efluente descartável), cujos resultados das análises físico-químicas e de metais pesados, feitas nesse ponto, estão apresentados na Tabela 2.

Observa-se, na Tabela 1, que os parâmetros analisados no ponto PL se mantiveram, em geral, dentro dos limites impostos pela referida Resolução, durante todo o período de estudo; exceção ocorreu, no entanto, para os parâmetros pH, cor, ferro total e alumínio.

O pH no ponto PL variou de 4,62 a 6,08, o que poderia ser atribuído à adição do sulfato de alumínio durante o processo de tratamento da água. Segundo Meneses (2005), o pH é, em geral, influenciado pelo teor de sulfato de alumínio na água, ou seja, maior concentração de sulfato de alumínio, menor valor

Tabela 1. Resultados dos parâmetros físico-químicos e inorgânicos do efluente líquido descartável da ETA

Parâmetros	Ponto de Lançamento							Limite CONAMA (357/2005)
	30/05/04	30/06/04	30/07/04	30/08/04	30/09/04	09/11/04	02/12/04	
Temperatura (°C)	27,0	24,0	24,4	25,0	25,0	24,6	25,2	-
pH	5,10	4,85	4,64	5,66	6,08	4,62	4,97	6,0 a 9,0
Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	103,1	113,6	101,3	104	96,6	97,3	104,9	-
Sólidos dissolvidos totais (mg L^{-1})	265	112	264	135	229	324	239	500
Sólidos totais fixos (mg L^{-1})	183	94	231	108	131	193	178	-
Sólidos totais voláteis (mg L^{-1})	82	18	33	27	98	131	61	-
Cor (mg Pt L^{-1})	250	200	450	300	200	150	100	75
Turbidez (UNT)	21	43	90	51,2	10,2	53,4	76,6	100
Alcalinidade (ml CaCO_3)	12	12	36	6	8	7	5	-
Cloreto total [mg (L Cl)^{-1}]	19	21	37	21	40	18	20	250
Dureza Total [$\text{mg (L CaCO}_3)^{-1}$]	26	24	40	28	34	20	22	-
Alumínio [mg (L Al)^{-1}]	8,03	2,81	14,31	14,41	2,8	20,8	33,72	0,1
Cádmio Total [mg (L Cd)^{-1}]	ND	ND	ND	ND	<0.004	ND	ND	0,001
Chumbo Total [mg (L Pb)^{-1}]	ND	ND	ND	ND	<0.01	ND	ND	0,01
Cobre Total [mg (L Cu)^{-1}]	ND	ND	0.011	ND	<0.1	ND	ND	0,009
Ferro Total [mg (L Fé)^{-1}]	4.1	0.9	6.8	2.9	1.67	9	0.95	0,3
Manganês Total [mg (L Mn)^{-1}]	0.04	0.02	0.073	0.061	<0.05	0.038	0.057	0,1
Níquel Total [mg (L Ni)^{-1}]	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,025
Zinco Total [mg (L Zc)^{-1}]	0.023	0.009	0.043	0.096	<0.1	0.012	0.008	0,18

Tabela 2. Resultados dos parâmetros físico-químicos e inorgânicos da água bruta do rio Gramame

Parâmetros	GR							Limite CONAMA (357/2005)
	30/05/04	30/06/204	30/07/04	30/08/04	30/09/04	9/11/04	2/12/04	
Temperatura (°C)	25,7	25,4	24,5	26,1	25	25,3	25,2	-
pH	6,88	7,2	6,6	7,1	6,37	6,43	6,54	6,0 a 9,0
Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	77,1	78	68,8	67,2	71,2	72,2	80,3	-
Sólidos dissolvidos totais (mg L^{-1})	146	121	101	71	75	82	85	500
Sólidos totais fixos (mg L^{-1})	110	107	73	48	56	51	67	-
Sólidos totais voláteis (mg L^{-1})	36	14	28	23	19	31	19	-
Cor (mg Pt L^{-1})	200	300	350	175	125	150	200	75
Turbidez (UNT)	6,2	66	25	12,7	7,4	8,5	12,8	100
Alcalinidade (ml CaCO_3)	17	14	20	16	14	18	18	-
Cloreto Total [mg (L Cl)^{-1}]	19	18	20	21	33	16	20	250
Dureza Total [$\text{mg (L CaCO}_3)^{-1}$]	18	30	40	8	18	14	14	-
Alumínio [mg (L Al)^{-1}]	0,32	0,71	0,99	0,26	0,17	0,17	0,67	0,1
Cádmio Total [mg (L Cd)^{-1}]	ND	ND	ND	ND	0,004	ND	ND	0,001
Chumbo Total [mg (L Pb)^{-1}]	ND	ND	ND	ND	0,01	ND	ND	0,01
Cobre Total [mg (L Cu)^{-1}]	ND	ND	0,011	ND	0,1	ND	ND	0,009
Ferro Total [mg (L Fé)^{-1}]	4,1	0,9	6,8	2,9	1,67	9	0,95	0,3
Manganês Total [mg (L Mn)^{-1}]	0,04	0,02	0,073	0,061	0,05	0,038	0,057	0,1
Níquel Total [mg (L Ni)^{-1}]	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,025
Zinco Total [mg (L Zc)^{-1}]	0,023	0,009	0,043	0,096	0,1	0,012	0,008	0,18

[OBS.]: ND Significa não detectado

do pH; no entanto, no trabalho em questão, este parâmetro não apresentou um padrão definido de relação inversa com as concentrações de alumínio encontrado no do efluente líquido descartável da ETA de Gramame. Comparados com os valores obtidos no ponto GR, os valores de pH em PL foram sempre mais baixos. O pH é um parâmetro de caráter operacional que deve ser acompanhado para otimizar os processos de tratamento da água e preservar, contra corrosões ou entupimentos, as tubulações do sistema de distribuição.

Pela Tabela 1 observa-se também que a cor apresentou valores elevados, variando de 150 a 450 mg Pt L^{-1} . De acordo com Reali apud Menezes (2005), efluente descartável contendo sulfato de alumínio apresenta coloração marrom, com viscosidade e consistência que lembram um chocolate líquido, além de apresentar uma difícil sedimentação ou flotação em seu estado natural. A presença de cor na água provoca repulsa psicológica pelo consumidor, pela associação com a descarga de esgotos (Von Sperling, 1995). Este parâmetro exerce influência na escolha do tipo do tratamento a que deve ser submetida a água e sua variação obriga a alterar a dosagem dos produtos químicos usados na clarificação (Von Sperling, 1995). As águas naturais possuem cor que varia entre 0 e 200 mg Pt L^{-1} pois, acima disto, já seriam águas consideradas de brejo ou pântano com altos teores de matéria orgânica dissolvida. Ainda pela Tabela 1, observa-se que o parâmetro cor, analisado no ponto PL, apesar de ter apresentado concentrações mais elevadas teve, em geral, comportamento semelhante ao do ponto GR (Tabela 2).

A concentração de ferro no trabalho em questão variou de 0,9 a 9,0 mg L^{-1} Fe, no ponto PL (Tabela 1), mantendo-se sempre

fora do limite de 0,3 mg L^{-1} , imposto pela Resolução 357/05 do CONAMA. O ferro, apesar de não se constituir um tóxico, traz diversos problemas para o abastecimento público de água. Confere cor e sabor à água, provocando mancha em roupas e utensílios sanitários; também traz o problema do desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferro-bactérias, ocasionando a contaminação biológica da água, na própria rede de distribuição. De acordo com Ferreira & Laje Filho (1999), um dos principais motivos para restrição ao reúso da água da limpeza e lavagem das ETAs é quando esta água apresenta uma qualidade microbiológica não satisfatória ou presença de ferro e manganês, o que se deve ao fato de que, sendo o processo de filtração uma operação de pré-concentração de sólidos e microrganismos, quando ocorre a reciclagem integral a água de lavagem pode prejudicar o processo de tratamento da fase líquida. No trabalho em questão as concentrações de ferro encontradas no efluente líquido descartável da ETA não seriam, certamente, um fator limitante ao reúso, uma vez que este efluente apresentou os mesmos níveis de ferro encontrados na água bruta do rio Gramame (Tabela 2). Ainda que o resultado não fosse este, o fator diluição com a água captada no reservatório Gramame/Mamuaba atenuaria os problemas causados pelo ferro ao processo de tratamento da água.

Segundo Kawamura apud Ferreira & Laje Filho (1999), recomenda-se que o retorno da água de lavagem não deve ultrapassar 10% da vazão da água bruta afluente a ETA de modo a permitir que não ocorra nenhum prejuízo ao processo de coagulação-floculação, dosagem de coagulante e sobrecarga hidráulica nas unidades de tratamento. Três ETA's

realizam com sucesso a recuperação integral de suas águas de lavagem: Guaraú e Alto da Boa Vista, ambas operadas pela SABESP, e a Rio Descoberto, operada pela CAESB. Durante o período compreendido entre os meses de dezembro de 1999 a maio de 2000, a ETA/Gramame realizou, também com sucesso, o reaproveitamento da água de lavagem de filtros e sobrenadante da lagoa de lodo. Neste período, a capacidade do reservatório atingiu nível crítico (26,25% da capacidade de armazenamento), comprometendo a vazão de demanda do sistema de abastecimento, acarretando para empresa concessionária (CAGEPA - Companhia de Água e Esgotos da Paraíba) a adoção de uma política de racionamento. Reutilizou-se, no sistema de produção, uma vazão que variou de 4,5 a 6,6% em relação à vazão mínima de adução (600 L s^{-1}).

Ainda conforme a Tabela 1, observa-se predominância da não detecção dos parâmetros inorgânicos (Cádmio, Chumbo, Cobre e Níquel) durante o período de estudo, no ponto PL, mas, neste mesmo período as concentrações de alumínio apresentaram-se sempre acima do limite de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, estabelecido pelo CONAMA, com oscilações entre 2,8 a $33,72 \text{ mg L}^{-1}$, com valor médio $13,84 \text{ mg L}^{-1}$. Este valor médio é aproximadamente 138 vezes maior que o máximo permitido ($0,1 \text{ mg L}^{-1}$) pela Resolução 357/05 para mananciais da classe 2, na qual está inserido o rio Gramame.

De acordo com a CETESB (2005), o alumínio na água é complexado e influenciado pelo pH, temperatura e presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes. A solubilidade é baixa em pH entre 5,5 e 6,0. O alumínio deve apresentar maiores concentrações em profundidade, em que o pH é menor e pode ocorrer anaerobiose. Se a estratificação, e conseqüente anaerobiose, não forem muito fortes, o teor de alumínio diminuirá no corpo de água, como um todo, à medida em que se distancia a estação das chuvas. O aumento da concentração de alumínio está associado ao período de chuvas e, portanto, à alta turbidez. O acúmulo de alumínio no homem tem sido associado ao aumento de casos de demência senil do tipo Alzheimer (Meneses, 2005).

Observa-se, pelas Tabelas 1 e 2, que as concentrações de alumínio no ponto PI (efluente líquido descartável da ETA/Gramame) foram sempre maiores que em GR (água bruta - rio Gramame), durante todo o período de estudo; o fato ocorre provavelmente em razão da água de lavagem dos filtros não ser encaminhada para a lagoa de lodo o que, certamente, reduziria muito a concentração de alumínio, sólidos, cor e turbidez no efluente líquido descartável da ETA.

Mesmo se admitindo que os valores dos parâmetros investigados no ponto PL podem ter sofrido variações além das apresentados neste trabalho, em função da defasagem de horário entre coleta de amostra e o descarte do lodo na operação de limpeza dos decantadores e lavagem dos filtros, as concentrações dos parâmetros analisados no efluente líquido descartável da ETA/Gramame, certamente não foram elevadas se comparadas com as encontradas por Cordeiro (2000) apud Portella et al. (2003). Ao analisar o efluente descartável de três

estações de tratamento de água: São Carlos, Araraquara e Rio Claro, no estado de São Paulo, os autores supra citados encontraram valores extremamente elevados para os parâmetros físico-químicos e metais pesados analisados e observaram, também, que os resultados obtidos representam dados pontuais e que existe uma variabilidade em função da operação de remoção do lodo e limpeza dos decantadores. A diferença entre os resultados obtidos nesta pesquisa e os encontrados por Cordeiro (2000) apud Portella et al. (2003) mostra que é importante a implantação de lagoa de lodo nas estações de tratamento de água (como na ETA Gramame) para retenção dos resíduos sólidos, gerados principalmente nos decantadores, o que, sem dúvida, viabilizaria o reúso do efluente líquido descartável reduzindo, portanto, a vazão de captação para atender à demanda e minimizando os impactos causados na qualidade da água do corpo receptor. Tal afirmativa é comprovada quando se compara a característica da água bruta do rio Gramame no ponto GR com as do ponto PL (efluente líquido descartável da ETA).

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, conclui-se que:

1. As características físico-químicas do efluente líquido descartável (sobrenadante das lagoas de lodo e a água de lavagem dos filtros) da ETA/Gramame apresentaram-se similares as da água bruta da ETA proveniente do rio Gramame e, dentro dos padrões da Resolução Nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, para mananciais da Classe 2. Exceção ocorreu para o parâmetro alumínio.
2. Esta similaridade sugere o reaproveitamento das águas de lavagem dos filtros e limpeza dos decantadores, na própria ETA, considerando a implantação de lagoa de lodo para receber estes efluentes.
3. As concentrações de alumínio encontradas no efluente da ETA foram sempre superiores as da água bruta que chega a estação de tratamento.
4. Pelos problemas que o alumínio pode trazer para o homem, o controle na adição do sulfato de alumínio e das operações de limpeza e lavagem da ETA deve ser mais efetivo.

LITERATURA CITADA

- APHA – AWWA. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19ed. Washington – USA: Public Health Association /American Water Works Association, Water Environment Federation, 1995. 1134p.
- CETESB. Variáveis de qualidade das águas. <http://www.cetesb.sp.gov.br/>. 15 Set. 2005.
- Meneses, A.C.L.S.M. Presença de alumínio no efluente descartável gerado numa estação de tratamento de água e suas implicações na qualidade da água do corpo receptor. João Pessoa: PRODEMA/UEPB, 2005. 110p. Dissertação Mestrado.

- Ferreira Filho, S.S.; Laje Filho, F.A. Redução de perdas e tratamento de lodo em ETA. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA. Brasília: SEPURB, 23p. 1999. Documentos Técnicos de Apoio
- FIESP/CIEP. Conservação e reúso de água - Manual de orientações para o setor industrial. Centro Internacional de Referência em Reúso de Água – FCTH. São Paulo: FIESP, 90p. 2004.
- Portella, K.F.; Andreoli, C.V.; Hoppen, C.; Sales, A; Baron, O. Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba – PR. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, 22, Joinville. Anais Joinville: ABES, 2003.
- von Sperling, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3.ed. Belo Horizonte: Ed. DESA/UFMG, 1995. 452p.