

Diagnóstico de qualidade das águas do Canal do Mangue (Rio de Janeiro)

Mangue channel (Rio de Janeiro) water diagnosis


- **Data de entrada:**
23/08/2017
- **Data de aprovação:**
07/08/2018


Daniele Maia Bila ^{1*} | Marisa Magalhães da Silva¹ | Geraldo Lippel Sant'Anna Junior¹

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.026>

ORCID ID

Silva MM  <https://orcid.org/0000-0002-7751-8786>

Sant'Anna Junior GL  <https://orcid.org/0000-0002-0024-756X>

Bila DM  <https://orcid.org/0000-0002-7988-0893>

Resumo

O Canal do Mangue, um importante corpo hídrico situado na região central da cidade do Rio de Janeiro, recebe as águas de rios locais e contribuições de águas pluviais, entre outras. Parte do canal se situa em área urbana que está sofrendo transformações no projeto Porto Maravilha. O canal deságua na Baía da Guanabara, sistema hídrico ambientalmente fragilizado. Neste trabalho foram feitas quatro campanhas de amostragem em um ano, em cinco pontos ao longo do canal, de modo a verificar a qualidade da água. Para um dos pontos foram feitas coletas para investigar o tratamento físico-químico da água do canal com vistas ao reúso. Os resultados revelam qualidade insatisfatória das águas com respeito à maioria dos parâmetros. Todavia, verificou-se que empregando um sistema de tratamento simples para parte da água do canal seria possível gerar água de reúso para algumas aplicações. Foram feitas observações sobre o estado de conservação do canal e propostas para aprimorar o seu funcionamento.

Palavras-chave: Canal do Mangue. Tratamento de água. Reúso de água.

Abstract

Mangue channel is an important water body located in the central area of Rio de Janeiro, which is the recipient of some local rivers, rainwater and other contributions. The channel is partially located in an urban area that is being transformed in the Porto Maravilha project. The water of the channel flows to the Guanabara Bay, a system environmentally fragile. Four sampling campaigns were conducted during a year in five selected points of the channel in order to investigate the water quality. For one selected point two additional sampling campaigns were performed to conduct a study of physical-chemical treatment the water aiming reuse. The results indicate that for most analyzed parameters the water quality can be considered unsatisfactory. On the other hand, the utilization of a simple water treatment process can produce water for reuse in some applications. Observations were made about the state of conservation of the water channel and proposals were made to enhance its operation.

Keywords: Mangue channel. Water treatment. Water reuse.

¹ Universidade Estadual do Rio de Janeiro (PEAMB/UERJ) – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

*Autor correspondente: danielebilauerj@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

A região da cidade do Rio de Janeiro atualmente denominada Cidade Nova era, no século XIX, um grande manguezal. Ainda no período imperial, o governo planejou a construção de um canal para sanear o local e receber a água dos rios da região e as águas pluviais. As obras se prolongaram de 1857 a 1860, quando o canal foi inaugurado. Posteriormente, em 1906, foi feito o prolongamento do canal, em paralelo à Avenida Francisco Bicalho, até a Baía de Guanabara (DUNLOP, 1955).

O canal atravessa uma região importante e central da cidade. Passa ao largo do centro administrativo da prefeitura e é componente das paisagens das avenidas Presidente Vargas e Francisco Bicalho. Por fim, deságua na Baía de Guanabara, um corpo d'água de grande relevância para a cidade, mas muito afetado pela poluição.

A região da Avenida Francisco Bicalho sofreu, ao longo dos anos, severa deterioração urbana. O mesmo aconteceu com parte da região da Avenida Presidente Vargas. Uma expectativa de revitalização dessas áreas surgiu quando a cidade do Rio de Janeiro atraiu grandes eventos como a Copa do Mundo da FIFA e os Jogos Olímpicos. Nesse contexto foi elaborado o projeto denominado Porto Maravilha, que prevê enorme reforma urbana na área portuária e nos seus arredores. Embora investimentos estejam sendo feitos na região, não se tem conhecimento de plano para revitalizar o Canal do Mangue, realizando a dragagem de trechos assoreados, a manutenção das paredes laterais, o aprimoramento paisagístico e, sobretudo, a melhora da qualidade da água em toda a extensão do canal.

Os principais rios tributários do canal são: Joana, Maracanã, Trapicheiro, Comprido e Papa-couve. Para atenuar o crônico problema das enchentes, na região da Praça da Bandeira e do Maracanã, estão sendo construídos reservatórios ("piscinões") em quatro locais (dois deles já conclu-

idos). Além disso, está em obras o projeto de desvio do curso final do Rio Joana, que não mais desaguará no Canal do Mangue, mas sim diretamente na Baía da Guanabara, muito próximo ao local onde deságua o canal. A obra prevê a conexão do rio Maracanã ao rio Joana, que seria utilizada em caso de fortes chuvas (BORGES, 2013). Todas essas ações governamentais irão alterar o funcionamento do Canal do Mangue.

Estima-se que a vazão do canal será reduzida em mais de 30% (CANHOLI & GRACIOSA, 2014). Essa redução de vazão se dará no trecho do canal que margeia a Avenida Francisco Bicalho e poderá intensificar a deposição de sólidos nesse ramo, muito embora as observações feitas neste trabalho indiquem que as zonas de assoreamento do canal estão mais presentes no ramo adjacente à Avenida Presidente Vargas.

Os países desenvolvidos têm implantado com êxito programas de recuperação das águas de regiões urbanas. Um exemplo admirável foi a recuperação das águas do porto de Copenhague, que permitem hoje a prática da natação (BRUEL, 2012). As águas, sendo bem público, devem servir à população não apenas para abastecimento, mas para outras atividades como a recreação ou o simples deleite. É frustrante observar um canal construído com esmero e material de qualidade, ainda no século XIX, em mau estado de conservação e transportando para a Baía da Guanabara água poluída.

Ao iniciar este trabalho tinha-se como objetivo fazer um diagnóstico da qualidade da água do Canal do Mangue. Ao longo dele verificou-se que apesar de a qualidade da água ser insatisfatória, ela era passível de tratamento para obtenção de água de reúso para aplicações não nobres, como lavagem de pisos e jardinagem. A água de reúso usada para a limpeza das ruas onde ocorrem feiras livres vem de ETE distante de muitos pontos de utilização, o que encarece o transporte de

um material de pouco valor econômico. Assim, investigou-se com mais propriedade algumas técnicas físico-químicas para produzir água de reúso em um local central da cidade, próximo a bairros populosos como Tijuca, Vila Isabel, Rio Comprido e outros.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Coleta de amostras

A Fig. 1 é uma representação esquemática do Canal do Mangue e do coletor da Rua Francisco Eugênio. Na figura estão indicados os cinco pontos de amostragem. As coletas nos cinco pontos foram feitas em períodos secos e chuvosos, entre 10 e 15 horas nos seguintes dias: 05/08/2015; 26/10/2015; 23/02/2016; 14/06/2016. Nenhuma coleta foi feita sob precipitação de chuvas para que não houvesse interferência nos resultados. Duas coletas adicionais foram feitas em 11/10/2016 e 23/11/2016 com o intuito de investigar o tratamento da água. Neste caso, as amostras foram coletadas no ponto 1.

A coleta das amostras de água era feita com auxílio de um recipiente amarrado a um cabo, sempre que possível, no centro do canal e em profundidade média. Uma vez coletada, a amostra era vertida em uma tela para retenção de partículas maiores do que 3 mm. A seguir as amostras eram armazenadas em recipientes totalmente preenchidos e estocadas em isopor com gelo até serem transferidas para o laboratório, onde ficavam armazenadas em temperatura inferior a 4°C até serem processadas e analisadas. As coordenadas (GPS) dos pontos de amostragem são as seguintes: ponto 1, 22°54'00.7"S; 43°12'36.6"W - ponto 2, 22°54'24.2"S; 43°12'41.0"W - ponto 3, 22°54'34.3"S; 43°12'34.3"W - ponto 4, 22°54'36.1"S; 43°12'22.2"W- ponto 5 22°54'29.6"S; 43°12'02.3"W.

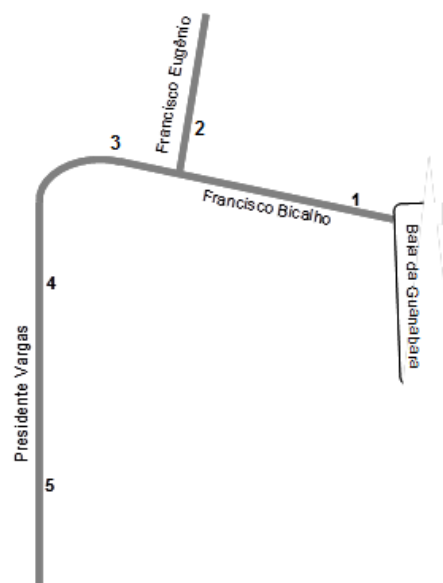


Figura 1. Desenho esquemático do canal com pontos de amostragem.

O ponto 1 está localizado na avenida Francisco Bicalho, próximo ao Terminal Rodoviário do Rio de Janeiro. O ponto 2 fica na rua Francisco Eugênio, próximo ao número 20, no canal onde desembocam os rios Joana e Maracanã. O ponto 3 situa-se na esquina da avenida Francisco Bicalho próximo à curva do canal. O ponto 4 fica na avenida Presidente Vargas, próximo à estação Cidade Nova do Metrô, e o ponto 5 se situa na avenida Presidente Vargas próximo ao prédio da Nova CEDAE.

2.2 Procedimentos analíticos

A determinação dos parâmetros físico-químicos foi realizada com base nos procedimentos descritos em APHA (APHA, 2012). Após a coleta, as análises foram realizadas para obter informação sobre a qualidade das águas do canal. Os seguintes parâmetros de qualidade de água foram determinados: demanda química de oxigênio (DQO), carbono orgânico dissolvido (COD), fósforo total, nitrogênio amoniacal, pH, turbidez, cor, sólidos suspensos totais (SST), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos

dos suspensos voláteis (SSV), temperatura, teor de óleos e graxas, teor de cloreto, oxigênio dissolvido (OD), absorvância (254 nm) e coliformes. Na Tabela 1 encontram-se citados os métodos utilizados para a determinação dos parâmetros referidos.

Para as três últimas coletas foram realizados ensaios de toxicidade com os organismos *Aliivibri*

ofisheri e *Daphnia similis*. Para a bactéria marinha luminescente *Aliivibrio fisheri* foi adotado o método NTB 15411-3 (ABNT, 2012) e, para tal, foi empregado o equipamento Microtox (SDI, Modelo 500). Para o microcrustáceo de água doce *Daphnia similis* foi utilizado o método descrito na norma NTB 12713 (ABNT, 2009).

Tabela 1. Métodos de determinação dos parâmetros de qualidade de água.

Parâmetro	Número do Método	Método
pH	4500-H ⁺ B	Potenciométrico
Temperatura	2550	---
Turbidez	2130 B	Nefelométrico
Cor Verdadeira	2120 C	Espectrofotométrico
Cor Aparente	2120 C	Espectrofotométrico
DQO	5220 D	Colorimétrico
COD	5220 D	Colorimétrico
SDT	2540 C	---
SST	2540 C	---
SSV	2540 C	---
Nitrogênio Amoniacal	4500-NH ³ D	Método do Eletrodo Seletivo de Amônia
Fósforo Total	4500-P E	Método do Ácido Ascórbico
Óleos e Graxas	5520 D	Método de Extração por Soxhlet
Cloreto	4500-Cl ⁻ B	Método Argentométrico (Mhor)
Oxigênio Dissolvido	4500-O G	Método do eletrodo de membrana
Absorvância 254nm (Abs254)	5910 B	Método de Absorção Ultravioleta
Coliformes termotolerantes	9223 B	Teste de Coliforme com substrato enzimático -Tubos Múltiplos Normal
Coliformes totais	9223 B	Teste de Coliforme com substrato enzimático -Tubos Múltiplos Normal

2.3 Ensaios de tratamento da água

Os ensaios foram feitos com amostras de água coletadas no ponto 1 nas datas 11/10/2016 e 23/11/2016. Primeiramente investigou-se o efeito do teor de cloreto férrico para uma ampla faixa (50 a 400 mgL⁻¹) desse coagulante escolhido. Face aos resultados obtidos, restringiu-se a investigação à faixa de 5 a 100 mgL⁻¹. Verificou-se o efeito do teor de FeCl₃ na remoção de turbidez como principal critério de análise de desempenho. Posteriormente, investigou-se o efeito daquela variável sobre outros parâmetros: cor verdadeira e DQO bruta.

Os ensaios foram realizados em equipamento de jarros (Phipps & Bird Stirrer, Modelo 7790-400)

com volumes de líquido de 1 L cada. Após a adição da quantidade preestabelecida de cloreto férrico (Vetec Química Fina Ltda), manteve-se agitação rápida (30 rpm) por 5 minutos e lenta (300 rpm) por 15 minutos. A seguir o conteúdo dos jarros ficou em repouso por 30 min. Os ensaios foram conduzidos sem ajuste de pH das amostras.

Após a coagulação houve adição de hipoclorito de sódio (NaClO) à água, na concentração de 3 mgL⁻¹. O volume do lodo formado foi medido nesses ensaios e o líquido sobrenadante foi submetido às seguintes determinações: turbidez, DQO bruta e filtrada, COD, cor verdadeira e coliformes, a fim de verificar a eficácia do tratamento, comparando-se os resultados das amostras

brutas e tratadas. O volume de lodo gerado foi medido e expresso em porcentagem do volume inicial da amostra.

2.4 Observações sobre o estado do canal do manguê

Durante as amostragens, a equipe de coleta se deslocou pelas margens do canal, passou por suas pontes e observou pontos de assoreamento, tubulações de proveniência não conhecida que deságuam no canal, população de rua que utiliza a água do canal e pequenos grupos de meliantes na confluência das avenidas Presidente Vargas e Francisco Bicalho. A documentação fotográfica realizada de vários pontos do canal serviu de base para que propostas de operação e funcionamento fossem feitas no âmbito deste trabalho.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análises físico-químicas das amostras

Na Tabela 2 encontram-se os valores médios dos parâmetros físico-químicos determinados para os 5 pontos de amostragem. O desvio padrão de cada conjunto específico de resultados também está indicado. Nos casos em que o coeficiente de variação (desvio padrão/média, expresso em porcentagem) foi maior do que 100%, optou-se por apresentar na tabela o intervalo de variação (valores mínimo e máximo) daquele parâmetro.

Observa-se que para um dado ponto ocorre grande variação dos valores dos parâmetros para o conjunto de amostras coletadas. Com exceção do pH e da temperatura, os demais parâmetros apresentaram grande variação para um mesmo ponto e, em termos médios, menor variação entre diferentes pontos. De algum modo esse era um resultado esperado, dado que o canal recebe contribuições de vários rios, de águas pluviais e até de descartes irregulares, com regimes de flu-

xo e vazões variáveis ao longo do tempo. Os valores extremos de pH e temperatura para todo o universo de amostras coletadas foram: 6,1 (ponto 3, 4ª. coleta), 7,4 (ponto 2, 2ª. coleta) e 20°C (pontos 1 a 5, 1ª. coleta), 25°C (pontos 1 a 5, 3ª. coleta), respectivamente.

No que se refere à matéria orgânica, expressa como DQO e COD, em função do aporte de rios que recebem esgotos e outros despejos, esperava-se até maiores teores desses parâmetros. A DQO bruta média nos pontos amostrais ficou na faixa de 56 a 132 mg L⁻¹. O maior valor registrado, levando-se em conta todas as amostras coletadas, foi de 305 mg L⁻¹, pontualmente elevado. Os valores médios de DQO filtrada se situaram entre 28 e 60 mg L⁻¹ e a razão DQO filtrada por DQO bruta, para os valores médios dos pontos de amostragem, foi de 0,47 ± 0,14. Ou seja, o material orgânico particulado e o dissolvido têm praticamente igual contribuição para a demanda de oxigênio. No caso do COD, as médias por ponto de amostragem variaram de 10 a 21 mgCL⁻¹ e o maior valor encontrado no conjunto de amostras coletadas foi de 47 mgCL⁻¹ (ponto 3, 2ª. coleta).

Não se constatou correlação entre os valores de DQO filtrada e COD, possivelmente devido à variabilidade observada. A razão entre DQO filtrada e COD também teve forte variação, mas para valores médios foi de 3,1 ± 1,3 e para o conjunto de amostras foi de 3,6 ± 2,7. O valor da razão entre esses dois indicadores pode variar dependendo da composição dos poluentes hídricos. Para efluentes industriais e domésticos, essa razão em geral se situa em uma faixa de 2 a 7 (SANT'ANNA JR., 2013)

Um parâmetro que se apresentou em níveis críticos ao longo do canal foi o teor de oxigênio dissolvido, sempre abaixo de 1 mg L⁻¹; em alguns pontos, inferior a 0,5 mg L⁻¹. O canal tem um escoamento, em geral, quiescente, sem turbilhões ou redemoinhos, o que acarreta em baixa taxa de

transferência de oxigênio do ar para a água. Se o nível de OD fosse maior, a capacidade de autodepuração do canal seria aumentada.

Outro parâmetro que apresenta valores relativamente críticos é o N-amoniacoal, cujos valores médios em cada ponto variaram de 16 a

29 mg L⁻¹. Quanto às amostras analisadas, verificou-se que para 41% delas o nível desse parâmetro superou o valor de 20 mg L⁻¹. Esse poluente, além de apresentar toxicidade, contribuiu para aumentar o déficit de oxigênio nos cursos d'água.

Tabela 2. Sumário dos resultados dos valores dos parâmetros físico-químicos

Parâmetro*	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
pH	7,0 ± 0,3	7,2 ± 0,4	6,8 ± 0,5	7,0 ± 0,2	6,8 ± 0,4
T (°C)	23 ± 2	23 ± 2	23 ± 2	23 ± 2	23 ± 2
Turbidez (UNT)	32 ± 22	43 ± 15	70 ± 59	44 ± 26	41 ± 9
Cor aparente (UC)	320 ± 243	558 ± 172	515 ± 251	463 ± 200	455 ± 165
Cor Verdadeira (UC)	125 [28 – 400]	180 [50 – 480]	205 [20 – 500]	180 [40 – 430]	140 [40 – 400]
DQO bruta (mgO ₂ L ⁻¹)	56 [15 – 164]	129 [36 – 305]	132 [28 – 279]	66 [20 – 145]	90 [43 – 169]
DQO filtrada (mgO ₂ L ⁻¹)	28 ± 16	60 ± 32	33 ± 29	43 ± 27	42 ± 21
COD (mg CL ⁻¹)	14 ± 7	13 ± 3	21 ± 18	15 ± 10	10 ± 1
SDT (mg L ⁻¹)	986 ± 534	562 ± 200	1319 ± 695	581 ± 211	379 ± 282
SST (mg L ⁻¹)	67 ± 33	115 ± 30	114 ± 82	68 ± 22	111 ± 89
SSV (mg L ⁻¹)	34 [nd – 54]	57 [16 – 98]	12 [nd – 36]	18 [nd – 42]	29 [nd – 78]
N-amoniacoal (mgN L ⁻¹)	18 ± 5	29 ± 18	16 ± 5	21 ± 13	17 ± 12
P-total (mg P L ⁻¹)	1,0 ± 0,6	0,9 ± 0,8	1,0 ± 0,7	1,3 ± 0,9	1,1 ± 0,9
O&G (mg L ⁻¹)	21 [4 – 59]	–	27 [3 – 73]	19 [2 – 27]	5 [nd – 7]
Cloreto (mg CL ⁻¹)	300	90 ± 75	333 ± 255	166 ± 95	77 ± 55
OD (mg O ₂ L ⁻¹)	0,8 ± 0,1	0,7	0,6	0,4	0,3
Abs 254 nm	0,133 ± 0,032	0,275 ± 0,176	0,181 ± 0,074	0,181 ± 0,094	0,186 ± 0,043

Legenda: (*) N amostral para cada ponto de coleta = 6; (nd) não detectado.

Para os resultados da série de sólidos, verificou-se que o teor de sólidos em suspensão totais (SST) apresentou variação significativa em cada um dos pontos de amostragem. Os valores médios ao longo do canal se situaram entre 67 e 115 mg L⁻¹, valores que não são significativos, provavelmente porque há condições de sedimentação dos sólidos no canal por conta do seu lento escoamento. Os sólidos em suspensão voláteis (SSV), representativos dos materiais em suspensão de natureza orgânica, variaram de 12 a 57 mg L⁻¹, valores que podem ser considerados baixos. É preciso frisar que a variação desse parâmetro foi muito alta para cada ponto considerado, com coeficientes de variação superiores a 100% para os dados obtidos. Os valores da razão

SSV/SST variaram de 0,11 (ponto 3) a 0,51 (ponto 1), tendo como valor médio 0,33. Apesar da dispersão, esses resultados parecem indicar que a maior parte do material em suspensão não é de natureza orgânica.

O teor de sólidos dissolvidos totais (SDT) também variou muito para cada ponto de amostragem e também de um ponto para outro. O maior valor médio foi observado no ponto 3 (1.319 mg L⁻¹), e o menor no ponto 5 (379 mg L⁻¹). É interessante observar que os valores máximo e mínimo do teor de cloretos foram também observados para esses dois pontos.

No que se refere à cor, tanto a aparente como a verdadeira apresentaram grandes variações para

as amostras coletadas em um dado ponto. Ambos os parâmetros apresentam valores elevados. A cor verdadeira, que é um parâmetro que consta da Resolução do CONAMA 357 para as águas das classes 2 e 3 (BRASIL, 2005), variou de 125 a 205 UC, muito acima do limite preconizado. Níveis elevados de O&G e de fósforo total (P-total) foram observados em todas as amostras analisadas, evidenciando qualidade insatisfatória da água do canal com respeito a esses parâmetros.

A medida da Abs254 é considerada um indicativo da presença de compostos aromáticos na água (WEISHAAR et al., 2003). Para águas muito pouco poluídas, em muitos casos, pode-se verifi-

car uma correlação ente esse parâmetro e a DQO filtrada ou o COD. A Fig. 2 mostra que, para os valores médios de cada ponto, há alguma relação entre a Abs254 e a DQO filtrada, embora o coeficiente de correlação não seja muito elevado (0,89). Uma outra correlação foi verificada entre os valores médios de STD e o teor de cloretos, como ilustrado na Fig. 3.

A turbidez, apesar de apresentar grande variação para cada ponto de amostragem, não atingiu valores muito elevados, ficando entre 32 (ponto 1) e 70 UNT (ponto 3). Algum grau de correlação foi observado entre cor verdadeira e turbidez (coeficiente de correlação linear de 0,74).

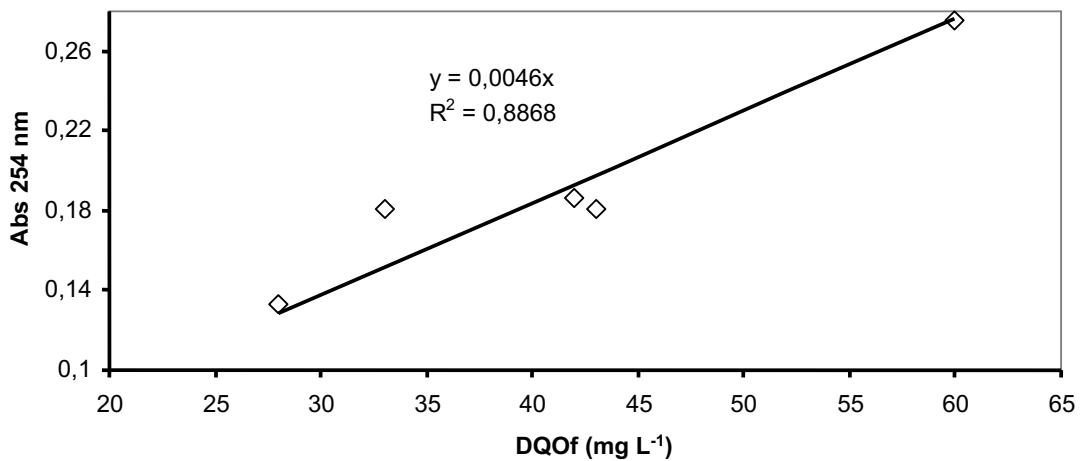


Figura 2. Correlação entre os valores médios (em cada ponto) de Abs254 e DQO filtrada.

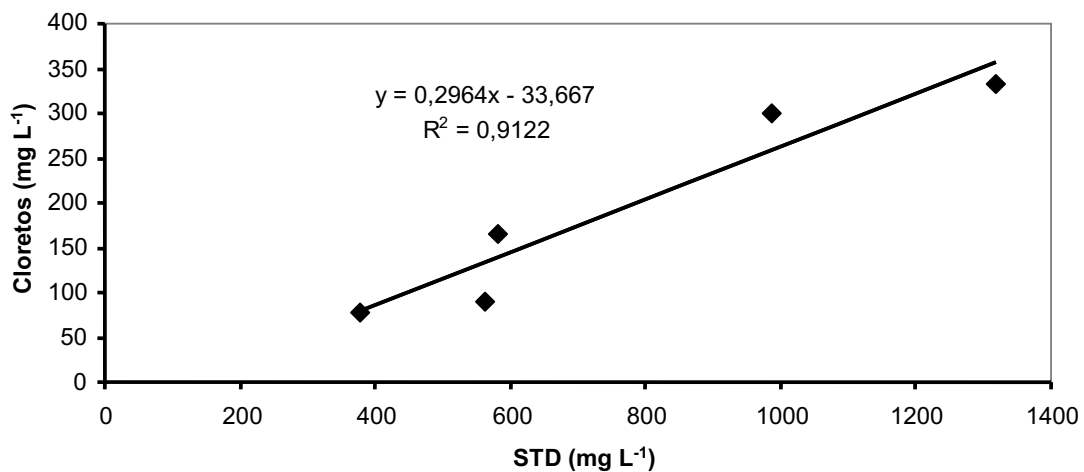


Figura 3. Correlação entre os valores médios (em cada ponto) dos teores de cloretos e STD.

Face aos grandes valores de desvio padrão dos parâmetros listados na Tabela 2 (exceto pH e temperatura), não se pode afirmar com certeza se a água coletada em um ponto apresenta pior ou melhor qualidade que a de outro ponto. As águas dos pontos 4 e 5 sofrem influência de lançamentos diversos e do Rio Papa Couve. No ponto 3 há influência dos lançamentos dos rios Comprido e Trapicheiro. Os rios Joana e Maracanã afetam as águas coletadas no ponto 2, e o conjunto dessas contribuições se manifesta no ponto 1, onde também ocorre significativa influência das marés. No geral, quanto aos parâmetros físico-químicos, os dados revelam má qualidade da água do canal.

A literatura referente à qualidade da água de rios e córregos é relativamente abundante, porém a comparação dos resultados obtidos para o Canal do Mangue, com os relatados para diferentes cursos d'água, mostra-se difícil, pois os sistemas hídricos diferem muito entre si e recebem impactos ambientais diversos. No caso do Canal do Mangue, dois parâmetros fogem muito dos limites preconizados para a qualidade das águas superficiais: oxigênio dissolvido e nitrogênio amoniacal. A relevância desses parâmetros foi reconhecida por DA SILVA e JARDIM (2006), que propuseram um novo índice de qualidade das águas baseado nos valores dessas variáveis. Monitoramento do Rio Atibaia, conduzido pelos autores, revelou, entretanto, valores significativos de oxigênio dissolvido (OD) e menos expressivos de nitrogênio amoniacal do que os determinados neste trabalho para o Canal do Mangue. PINTO e colaboradores (2010) também propuseram o OD como principal indicador da qualidade de águas superficiais.

Embora a DQO não seja um parâmetro sempre determinado em estudos de qualidade de águas

de rios, no caso do Canal do Mangue, os valores constantes da Tabela 2 indicam contaminação por matéria orgânica, provavelmente originária de esgotos domésticos. Em trabalho sobre o Ribeirão Ubá (MG), os dados obtidos por CARVALHO et al. (2004) revelaram que, em três campanhas de coletas de amostras, 39% delas apresentaram DQO superior a 300 mg L⁻¹. Tais elevados níveis se justificavam pelo fato de o ribeirão passar por zona urbana com déficit de saneamento e receber contribuição de efluentes da indústria moveleira local. No caso do Canal do Mangue, os teores de matéria orgânica, expressos em termos de DQO bruta, foram menores, embora para dois dos pontos amostrados os valores médios tivessem superado 100 mg L⁻¹.

Os dados de colimetria e toxicidade serão apresentados no próximo tópico, pois as determinações foram feitas para amostras brutas e amostras submetidas ao tratamento.

3.2 Tratamento da água do canal

Todos os ensaios foram realizados com amostras coletadas no ponto 1, o mais próximo do ponto de encontro do canal com o mar. De início investigou-se o efeito do teor de coagulante (FeCl₃) na remoção de turbidez, para uma faixa ampla dessa variável (50 a 400 mg L⁻¹). Verificou-se remoções muito elevadas (> 99%) para os teores de 50, 100 e 150 mg L⁻¹. Para além desse último valor (200, 300 e 400 mg L⁻¹), houve decréscimo do desempenho da coagulação. Procurou-se, então, explorar uma faixa de menor concentração do coagulante (5 a 100 mg L⁻¹). Obteve-se bons resultados a partir da concentração de 25 mg L⁻¹, conforme ilustrado na Fig. 4.

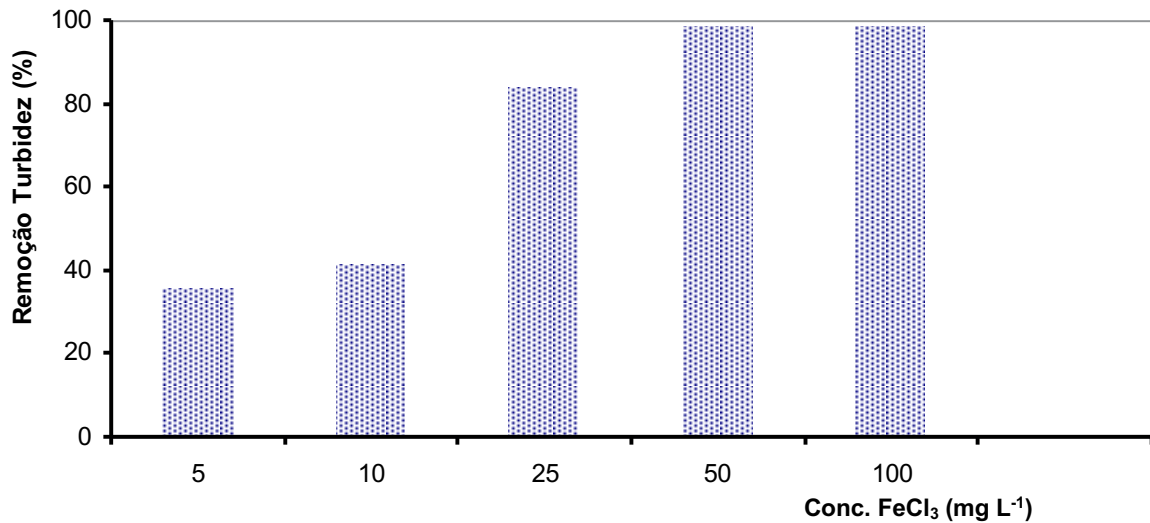


Figura 4. Remoção da turbidez em função da concentração de coagulante.
(Turbidez inicial = 16 NTU), amostragem ponto 1, 14/06/2016

A Fig. 5 mostra a remoção de cor verdadeira e de DQO bruta em função da concentração de coagulante. Para a concentração de 25 mg L⁻¹ foi possível remover praticamente toda a cor verdadeira e 88% da DQO bruta. Para as concentrações de 50 e 100 mg L⁻¹, ambos os parâmetros sofreram remoção elevada.

Esses dados revelam que a coagulação com cloreto férrico foi muito efetiva para promover a

remoção de cor e de DQO da água do canal. Obviamente, essa técnica gera lodo, que, no caso de aplicação real, deve ter condicionamento e destino adequados. Os volumes de lodo obtidos nos ensaios de coagulação realizados com diferentes teores de coagulante (5 a 100 mg L⁻¹) e amostras coletadas em dias diferentes foram reunidos na Fig. 6 e relacionados com o percentual de remoção de turbidez atingido no ensaio.

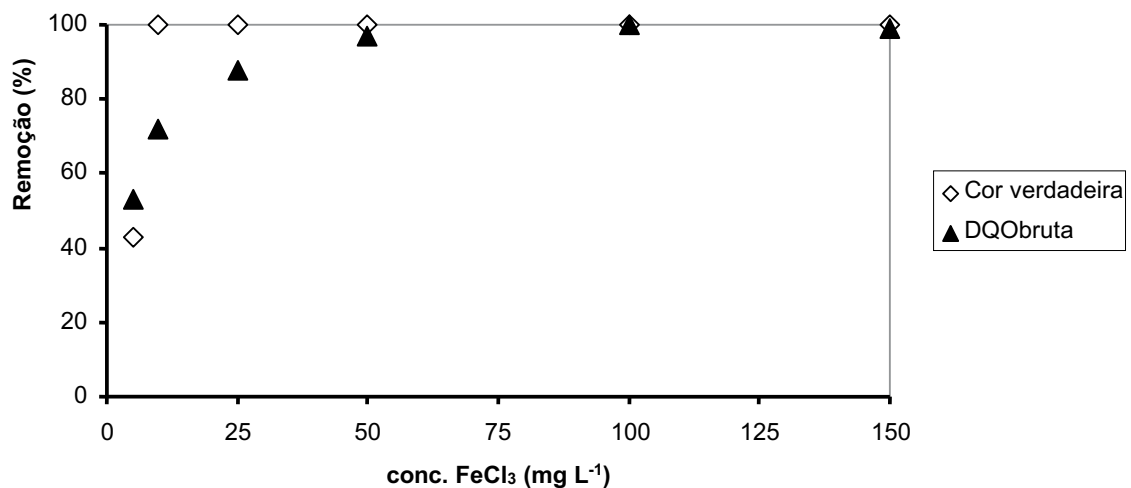


Figura 5. Remoção de cor verdadeira e DQO bruta em função do teor de coagulante.
(Amostragem ponto 1, 23/11/2016, Cor inicial 28 UC, DQOb inicial 32 mg L⁻¹)

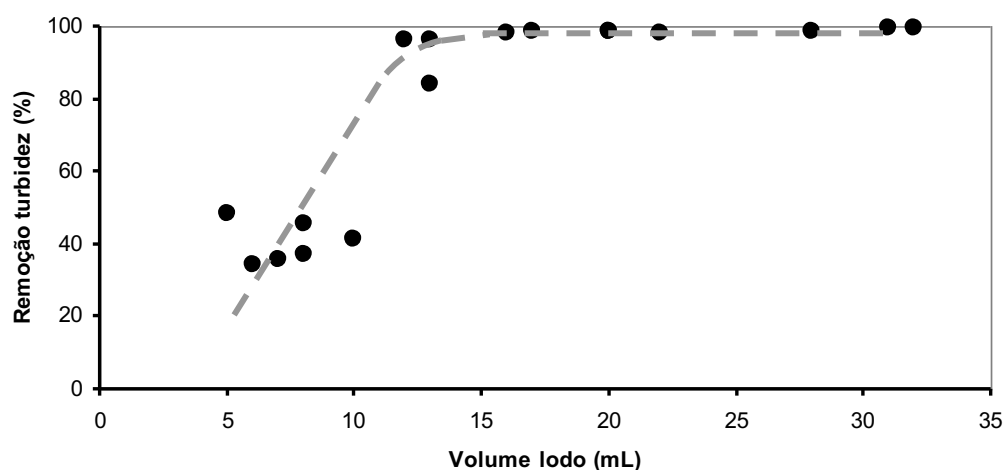


Figura 6. Volume de lodo obtido nos ensaios de coagulação em função da turbidez removida.
(17 ensaios realizados com teores de FeCl_3 de 5 a 100 mg L^{-1})
(apenas 1 outlier não considerado)

Os resultados indicam que volumes de lodo entre 15 e 30 mL são obtidos em ensaios em que há elevada remoção de turbidez. Isso corresponde à produção de lodo bruto de 1,5 a 3% do volume de água tratada.

Os ensaios de colimetria foram feitos apenas para as amostras da 4^a, 5^a e 6^a coletas e sempre do ponto 1. O número mais provável de coliformes por 100 mL (NMP/100mL) foi determinado nas amostras brutas e após a coagulação e adição de 3 mg L^{-1} de NaClO às amostras. Os resultados obtidos estão registrados na Tabela 3.

A confrontação dos resultados obtidos no tratamento da água do Canal do Mangue com os obtidos nos tratamentos de outras águas é uma tarefa difícil, pois as características das matrizes aquosas diferem muito entre si e, ademais, as condições empregadas nos tratamentos também são variadas, pois são ditadas por essas características. O cloreto férrico usado nos experimentos é um coagulante amplamente empregado em

estudos de tratamento de águas e efluentes. Ele é capaz de remover o fósforo em conjunto com outros poluentes, como relatado por MARGUTI et al. (2008).

No trabalho desses autores para o efluente final de uma estação de tratamento de esgotos, operada com reatores anaeróbios (UASBs), a dosagem de cloreto férrico de 40 mg L^{-1} levou a remoções de cerca de 59% do COD e do fósforo total. Para esse efluente, a remoção de fósforo cresceu com o aumento da dosagem de cloreto férrico. No caso da água do Canal do Mangue, embora a remoção de fósforo não tenha sido monitorada, o cloreto férrico promoveu remoções de DQO superiores a 80% quando empregado em concentrações iguais ou maiores do que 25 mg L^{-1} . A elevada remoção de DQO bruta observada para a água do canal se deve, provavelmente, à predominante contribuição de material particulado para esse parâmetro, o que acentuou o desempenho do coagulante cloreto férrico.

Tabela 3. Dados de colimetria* - antes e após os ensaios de floculação e cloração.

FeCl ₃ (mg L ⁻¹)	Bruta	5	10	25	50	100
4ª campanha C.termotolerantes C.totais	> 16000 > 16000	ausentes ausentes	ausentes ausentes	ausentes ausentes	ausentes ausentes	ausentes ausentes
5ª campanha C.termotolerantes C.totais	390 > 16000	ausentes ausentes	ausentes ausentes	ausentes ausentes	ausentes ausentes	ausentes ausentes
6ª campanha C.termotolerantes C.totais	9200 >16000	- -	<1,8 <1,8	<1,8 <1,8	- -	- -

*Colimetria expressa em NMP/100mL

Um indicador frequentemente utilizado para avaliar a qualidade da água é o IQA (índice de qualidade da água), que no país foi introduzido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Como os dados de coliformes estão disponíveis apenas para o ponto 1, utilizou-se para o cálculo do IQA os valores médios dos parâmetros pertinentes para esse ponto constantes da Tabela 2. Deve-se ressaltar que esse ponto é representativo da água do canal que é lançada na Baía da Guanabara. Para esse cálculo, duas adaptações foram feitas:

- i) como não se dispunha de dado de DBO (demanda bioquímica de oxigênio), empregou-se em seu lugar a metade do valor da DQO;
- ii) na ausência de dado de nitrogênio total, utilizou-se o teor de nitrogênio amoniacal, subestimando-se a contribuição em questão.

O cálculo do IQA seguiu procedimento adotado pelo órgão ambiental do estado de São Paulo (CETESB, 2013). O valor de IQA obtido para a água do ponto 1 foi de 20,8. Segundo a classificação preconizada pelo órgão ambiental citado, a qualidade da água pode ser classificada como “ruim” ($19 < IQA \leq 36$). Note-se, no entanto, que o valor encontrado está próximo do limite inferior da faixa em questão. A faixa logo abaixo ($0 < IQA \leq 19$) atribui à água a classificação “péssima”.

O órgão ambiental do estado do Rio de Janeiro monitora as águas interiores do estado e calcula o IQA para os cursos d’água. Entretanto, utiliza o índice segundo a proposta original da *National*

Sanitation Foundation, que difere do utilizado pela Cetesb com relação à substituição do teor de nitrato por nitrogênio total e do teor de fosfatos, por fósforo total. Ademais, não há a classificação “péssima” para a qualidade da água, mas sim a classificação “muito ruim”. Os limites numéricos dessa última classificação também diferem, sendo 19 (CETESB) e 25 (INEA).

Em 2016, o órgão ambiental reportou os valores de IQA para dois pontos do canal, e os valores foram determinados no mês de outubro (INEA, 2016). Para um deles, a qualidade da água foi classificada como “ruim”, e para o outro, “muito ruim”. Em 2017, duas amostragens em dois pontos distintos do canal feitas em março e novembro receberam os conceitos muito ruim (3 amostras) e ruim (1 amostra) (INEA, 2017). Esses dados estão em sintonia com a classificação da qualidade encontrada neste trabalho.

3.3 Observações sobre o canal e propostas

No período de 13 meses do estudo, durante as coletas de amostras, também foram observados diversos aspectos relativos ao funcionamento e às condições do Canal do Mangue. Os principais aspectos observados estão sumarizados a seguir:

- Assoreamento do canal, de modo mais expressivo no ramo da Avenida Presidente Vargas. Em vários pontos, havia pequenas ilhas de material sedimentado, como ilustrado na Fig. 7a;

- Existência de várias tubulações com saída nas margens do canal, sendo que em algumas delas não havia escoamento, mas em outras havia escoamento de água, cuja proveniência era incerta, pois não se tratava de água pluvial (Fig. 7b);
- Material flutuante (plásticos, madeiras e outros), sobretudo no trecho do canal acima citado;
- População de rua utilizando a água do canal e, até mesmo, abrigando-se nas bocas de saída de

tubulações sem escoamento situadas nas margens do canal;

- População de rua e meliantes nas margens do canal, em especial na convergência entre as avenidas Presidente Vargas e Francisco Bicalho;
- Margens sujas, com acúmulo de roupas, papelão, latas e outros materiais;
- Vegetação decorativa (paisagismo) razoável, mas ausente em certos trechos.



(a)



(b)

Figura 7. a) Assoreamento do canal em alguns pontos b) Lançamento de água no canal.

Para melhorar a qualidade da água do canal e o seu estado geral, cabem as seguintes propostas:

- Primeiramente, o órgão municipal responsável pelo canal deve estabelecer uma gerência específica para o mesmo, com funções definidas e com recursos para manutenção e aprimoramentos;
- Entre as ações mais prementes está a necessidade de dragagem do leito do canal, sobretudo no trecho da Avenida Presidente Vargas;
- Deve-se estudar a possibilidade de instalação de pontos de aeração, possivelmente sob as pontes,

para aumentar o nível de OD e, presumidamente, a capacidade de autodepuração das águas;

- A instalação de sistemas para remover material flutuante também deve ser estudada;
- Trabalho conjunto com outras secretarias municipais pode ser conduzido no sentido de atender e orientar a população de rua que se abriga e usa as águas do canal;
- Mapear os pontos de lançamento (tubulações) de águas pluviais e identificar lançamentos irregulares;

- Aprimorar as condições paisagísticas locais com o uso de espécies vegetais apropriadas e com os devidos cuidados de preservação;
- Avaliar a possibilidade de implantar uma central de produção de água de reúso para lavagem de pisos de feiras e praças dos bairros próximos ao canal;
- Avaliar a possibilidade de implantar uma central de produção de água de reúso para lavagem de pisos de feiras e praças dos bairros próximos ao canal;

Com relação a essa última proposta, embora o tratamento da água do canal não tenha sido estudado a fundo, verificou-se que com um simples processo de coagulação seguido de cloração foi possível melhorar significativamente a qualidade da água. Remoções de 100% de cor verdadeira, 98% de turbidez e 97% de DQO bruta foram obtidas com dosagens de FeCl_3 de 50 mg L^{-1} (Figs. 4 e 5). Quando a dosagem foi de 25 mg L^{-1} , as remoções acima citadas foram de 96%, 100% e 88%, respectivamente. Ademais, a cloração foi absolutamente efetiva na remoção de coliformes totais e coliformes termotolerantes.

Quando à toxicidade, a maioria das amostras brutas não atingiu níveis altos em concentração efetiva de 50% dos grupos-teste (CE50). Vale ressaltar que as respostas são determinadas por métodos estatísticos computacionais que apresentam relação inversa com a toxicidade. Somente a amostra de água bruta coletada no ponto 2 apresentou valor de CE50, sendo 44,27% para *Aliivibrio fisherie* 65,08% para *Daphnia similis*. Após o tratamento, os níveis tóxicos se mostraram baixos. Os únicos valores obtidos nas amostras tratadas foram 93,96% para a população de bactérias e 82,03% para os microcrustá-

ceos, ambos em amostras tratadas a 25 mg/L de coagulante cloreto férrico. Portanto, preponderantemente, os efeitos adversos foram mínimos nos organismos-teste.

Certamente será preciso investigar mais a fundo a remoção de outros parâmetros como N-amoniaco, fósforo, DBO e sólidos, entre outros. Entretanto, o processo investigado mostrou-se promissor, pois emprega níveis baixos de coagulante e hipoclorito de sódio e gera volumes de lodo que correspondem de 1,5 a 3% do volume de água processada.

Considerando as necessidades de água, a crescente utilização de água de reúso, a disponibilidade de água em local central da cidade e a existência de espaços urbanos pouco utilizados ou degradados, que podem servir para a instalação de uma central de tratamento, propõe-se a instalação de uma central para gerar água para reúso, em local próximo ao Canal do Manguê.

Tal central poderia ser construída em espaço disponível no início da Rua Francisco Eugênio ou em local não utilizado do terreno pertencente à Estação Leopoldina, adjacente ao canal. Essa instalação poderia processar $160 \text{ m}^3/\text{dia}$, em período de 8 a 10 horas, para atender à demanda de 10 caminhões-tanque de 20 m^3 de capacidade. A Fig. 8 mostra um esquema ilustrativo do que poderia vir a ser a central de produção de água para reúso. Os equipamentos componentes do processo e demais instalações não estão em escala, pois as suas dimensões dependem de vários fatores, inclusive dos padrões de dimensão comercializados pelos fornecedores. Entretanto, o retângulo com linhas pontilhadas está na proporção correspondente à área real do espaço interno da central de reúso ($10 \times 25 \text{ m}$).

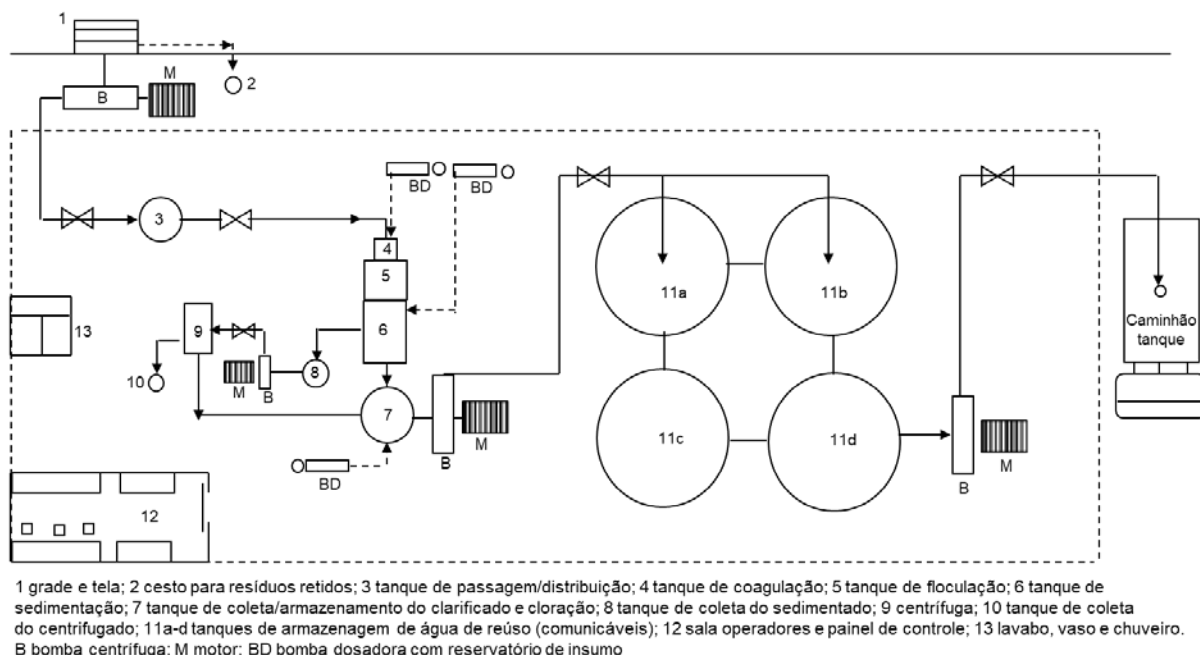


Figura 8. Esquema de uma instalação para produção de água de reúso.

Essa central de tratamento pressupõe para o seu funcionamento as seguintes unidades ou processos principais: captação da água com calha retentora de sólidos grosseiros; estocagem e distribuição em tanque pulmão, coagulação e floculação em fluxo, cloração, estocagem de água e alimentação de caminhões. As unidades ou processos acessórios são: centrifugação do sedimentado; dosagem de insumos (coagulante, floculante, hipoclorito). Embora não tenha sido feito o cálculo dos equipamentos e o projeto mais detalhado, estima-se que a área demandada para tal instalação seja um terreno de 10x25 metros, podendo ser menor, caso alguma verticalização seja possível.

Para a situação proposta, a água seria coletada próxima ao ponto 2 da amostragem, no trecho de influência do descarte dos rios Joana e Maracanã.

4 CONCLUSÕES

As campanhas de amostragem da água do Canal do Mangue, feitas em um período de 13 meses

em 5 pontos ao longo do canal, mostraram que a qualidade da água está fortemente comprometida. Níveis de oxigênio dissolvido muito baixos ($< 1 \text{ mg L}^{-1}$), alta contagem de coliformes totais ($> 16000 \text{ NMP}/100\text{mL}$), concentrações elevadas de N-amoniacoal e de fósforo total, entre outros indicadores, atestam que a qualidade da água é muito insatisfatória. A estimativa do índice de qualidade da água (IQA) para o ponto próximo ao final do canal classifica a qualidade da água como “ruim”, com valor numérico próximo ao do pior conceito da escala (“péssimo”).

Ao longo do tempo, para um dado ponto de amostragem, verificou-se grande variação nos valores dos parâmetros físico-químicos, expressos por elevados valores de desvio-padrão ou de intervalos de variação.

A investigação sobre o tratamento da água do canal, embora não exaustiva, revelou que a combinação de coagulação com cloração pode reduzir absolutamente os níveis de coliformes e obter

elevadas remoções de cor verdadeira, turbidez e DQO bruta.

Propostas de melhoria do estado e do funcionamento do canal foram feitas com base nas observações feitas durante as amostragens, que revelaram assoreamentos localizados, presença de material flutuante, descartes ou lançamentos não identificados, entre outros.

Devido ao crescente interesse e demanda por água de reúso, foi sugerido estudar a possibilidade de instalação de uma central de tratamento, cujo esquema geral foi proposto, em local em desuso às margens do canal.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

6 REFERÊNCIAS

ABNT, NBR 12713, **Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade Aguda – Método de Ensaio com *Daphnia spp* (Cladocera, Crustacea)**, Rio de Janeiro, 2009.

ABNT, NBR 15411-3, **Ecotoxicologia Aquática – Determinação do efeito inibitório de amostras aquosas sobre a emissão de bioluminescência de *Vibrio fischeri***, Rio de Janeiro, 2012.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. New York: 22th ed., 2012.

BORGES, S.M.G., **Intervenções em bacias hidrográficas urbanas no Rio de Janeiro: o desvio do Rio Joana e reservatórios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental), PUC-Rio, 2013.

BRASIL, **Resolução n. 357, de 17 de março de 2005**. Conselho Nacional do Meio Ambiente– CONAMA. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

BRUEL, M., Copenhagen, Denmark: **Green cities amid the finger metropolis**, In: **Green cities of Europe**, Beatley, T. (Ed.), 83-108, Island Press/Center for Resource Economics, 2012.

CANHOLI, A.P.; GRACIOSA, M.C.P. **Plano de Controle de Enchentes na Bacia do Canal do Mangue região da Praça da Bandeira e Estádio do Maracanã Rio de Janeiro – RJ**. Hidrostudio Engenharia Ltda. São Paulo. 2014.

CARVALHO, C.F.; FERREIRA, A.L.; STAPELFELDT, F. **Qualidade das águas do Ribeirão Ubá – MG**. R. Esc. Minas, Ouro Preto, 57(3), 165-172, 2004.

CETESB, **Índices de qualidade das águas**, Apêndice C, 29 p., 2013.

DA SILVA, G.S.; JARDIM, W. Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao Rio Atibaia, Região de Campinas/Paulínia-SP. **Química Nova** 29 (4), 689-694, 2006.

DUNLOP, C.J., **Rio Antigo**, Ed. Graf. Laemmert, Rio de Janeiro, 1955.

INEA, **Boletim de Qualidade das Águas da Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara, outubro de 2016**. Disponível em: <<<http://200.20.53.3:8081/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdi2/~edisp/inea0026989.pdf>>> Acesso em 12/06/2017.

INEA, **Boletim Consolidado de Qualidade das Águas da Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara, Bacia da Baía de Guanabara, Resultados Referentes ao ano de 2017**. Disponível em: <<<http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mtux/~edisp/inea0151342.pdf>>> Acesso em 25/07/2018.

MARGUTI, A.L.; FERREIRA FILHO, S.S.; PIVELI, R.P. Otimização de processos físico-químicos na remoção de fósforo de esgotos sanitários por processos de precipitação química com cloreto férrico. **Eng. Sanit. Ambient.**, 13(4), 395-404. 2008.

PINTO, A.L.; OLIVEIRA, G.H.; PEREIRA, G.A. Avaliação da eficiência de utilização do oxigênio dissolvido como principal indicador da qualidade das águas superficiais da bacia do córrego Bom Jardim, Brasilândia/MG. **Rev. GEOMAE**, 1(1), 69-82, 2010.

SANT'ANNA Jr., G.L., **Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações**, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2013.

WEISHAAR, J.L.; AIKEN, G.R.; BERGAMASCHI, B.A.; FRAM, M.S.; FUJII, R.; MOPPER, K. Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon. **Environmental Science & Technology** 37, 4702-4708, 2003.