

II-199 – ESTUDO PROSPECTIVO PARA UTILIZAÇÃO DOS EFLUENTES DAS ETE'S DAS ÁREAS URBANAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ PARA O REÚSO POTÁVEL – CONCEITOS, ASPECTOS LEGAIS E ALTERNATIVAS

Milton Spencer Veras Neto⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da USP. Mestre em Engenharia pela Escola Politécnica da USP. Especialista em Engenharia de Controle da Poluição Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da USP. Professor da Escola de Engenharia Mauá. Engenheiro da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP.

Bruno Martins de Camargo⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pela Escola Politécnica da USP. Mestre em Ciências, pela Escola Politécnica da USP. Engenheiro da ENCIBRA Estudos e Projetos S/A.

Vera Maria Barbosa Leite⁽³⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. Especialista em Engenharia em Saneamento Básico pela Faculdade de Saúde Pública - USP. Engenheira na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP.

Maria Regina Ferraz de Campos⁽⁴⁾

Engenheira pela Escola de Engenharia de Lins – EEL. Mestre em Engenharia pela Escola Politécnica da USP. Engenheira na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP.

Dante Ragazzi Pauli⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Mackenzie. Especialista em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo. Mestre em Saneamento Ambiental pela Universidade Mackenzie. Professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e da Faculdade de Engenharia do Mackenzie. Superintendente de Planejamento Integrado na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Costa Carvalho, 300, Pinheiros – São Paulo – SP – CEP: 05429-900 – Brasil - Tel: (11) 3388-9545 - e-mail: msveras@sabesp.com.br.

RESUMO

O presente trabalho avaliou o potencial de aproveitamento dos efluentes das Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's) do Sistema Principal de Esgotos da RMSP no Sistema Integrado Metropolitano, como fonte para reúso de água potável. O estudo contemplou uma etapa de revisão bibliográfica, com apresentação de experiências nacionais e internacionais de reúso potável, a compilação e interpretação do arcabouço legal e normativo brasileiro e internacional correlato e um levantamento das tecnologias disponíveis para tratamento de efluentes até níveis avançados. A segunda etapa contemplou uma discussão sobre a terminologia a ser adotada para a água de reúso, o estabelecimento de critérios para definição do Reúso Potável Indireto (RPI) e Reúso Potável Direto (RPD) e levantou um leque de alternativas possíveis para reúso potável, direto e indireto, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), avaliando seus entraves e potencialidades e elencando aquelas com maior potencial de implantação.

PALAVRAS-CHAVE: Reúso Potável, Sistema Integrado Metropolitano, Estação de Produção de Água de Reúso, Sistema Principal de Esgotos.

INTRODUÇÃO

É amplamente conhecida a condição desfavorável da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) em termos de disponibilidade hídrica per capita quando comparada às demais unidades hidrográficas do estado de São Paulo. A região está situada próximo das cabeceiras dos principais rios que cortam o estado: Tietê, Paranapanema e Paraíba do Sul. Essa condição de escassez se agrava ainda mais quando a ela se soma o problema da poluição de grande parte desse potencial hídrico, resultante de muitas décadas de um crescimento urbano caótico, sem planejamento, da região. Como resultado dessas duas condições desfavoráveis, é necessário importar água de sub-bacias vizinhas, principalmente da sub-bacia do rio Piracicaba.

A intensificação da necessidade de água para usos potáveis, agrícolas e urbanos, aliada à alteração dos regimes das águas devido às mudanças climáticas, aponta para um cenário de possível escassez de água em um futuro próximo no Brasil e no mundo. Desta maneira, a implantação de um sistema de água de reúso se mostra cada vez mais promissora para que toda a população possa ser adequadamente abastecida com água potável. O reúso planejado de esgotos ainda é uma prática incipiente no mundo, embora esteja em franco desenvolvimento. O reúso indireto não planejado da água é uma realidade para a grande maioria dos países, resultando em inúmeros impactos negativos para o meio ambiente, problemas de saúde pública e dificuldades no tratamento da água das estações a jusante dos lançamentos de esgoto. De maneira geral, o reúso tem sido realizado no mundo para diferentes fins, tais como: agricultura, aquicultura, indústria, irrigação paisagística, recreação, recarga de aquíferos, usos domésticos não potáveis e, mais recentemente, também para o uso potável.

Esse trabalho tem como objetivos: abordar o reúso potável planejado da água, a partir do aproveitamento dos efluentes tratados nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's) do sistema principal de esgotos da RMSP, passando por uma Estação de Produção de Água de Reúso (EPAR), com lançamento em um reservatório de água do SIM – Sistema Integrado Metropolitano de abastecimento de água, o que caracteriza um Reúso Indireto Potável de água (RPI), ou lançados em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) ou mesmo diretamente na rede de distribuição de águas, o que caracteriza um Reúso Potável Direto (RPD) de água; analisar o cenário normativo (leis e normas vigentes no Brasil) e institucional que possam interferir na adoção do reúso como alternativa para abastecimento da RMSP; e apresentar alternativas de reúso potável para a RMSP dentro da perspectiva do Plano Diretor de Abastecimento de Água da RMSP.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho consistiu em duas etapas. A primeira abrangeu uma caracterização da Bacia do Alto Tietê e uma revisão bibliográfica sobre reúso, visando o desenvolvimento de um estudo prospectivo de aproveitamento dos efluentes das ETE's do Sistema Principal de Esgotos da área de estudo para fins de abastecimento público. Nela, foram levantados dados de operação das ETE's do Sistema Principal de Esgotos e das ETA's do SIM, as experiências nacionais e internacionais de reúso potável, as leis e normas nacionais e internacionais relacionadas ao tema e as tecnologias e processos de tratamento disponíveis e consagradas para o tratamento de efluentes até um nível avançado.

Na segunda etapa, foram abordadas as diversas categorias de reúso, com estabelecimento dos critérios para definição de Reúso Potável Indireto e Direto, os possíveis arranjos de processo para o RPI e RPD e foram propostas alternativas de reúso, elencando aquelas com maior potencial de implantação.

Quatro pontos são debatidos a respeito da metodologia utilizada no estudo:

- Aspectos legais e normativos
- Terminologia para a água de reúso
- Critérios para definição do RPI
- Critérios para definição do RPD

O primeiro ponto a ser destacado é o levantamento realizado do aparato legal vigente no Brasil, com rebatimento na qualidade, no uso racional e, especificamente, na questão do reúso da água para o abastecimento humano. É importante salientar, todavia, que o ordenamento jurídico brasileiro ainda não se ocupou desse tema, de forma sistemática. A rigor, não há uma previsão legal definida para o reúso da água para fins potáveis. Uma norma contendo as condições específicas para o reúso, com finalidades potáveis deve ser formulada.

Foi realizada, pois, uma análise das normas vigentes sobre recursos hídricos, saneamento básico, proteção de mananciais e meio ambiente, inclusive o urbano, verificando as possíveis relações dessas normas com a reutilização da água para fins potáveis, atividade que se caracteriza, conceitualmente, como uso de recurso ambiental. Além disso, realizou-se um levantamento da abordagem normativa em outros países, como os EUA, visando estabelecer um primeiro norte para o estudo.

O segundo aspecto importante que este estudo abordou foram as diferentes terminologias para a água de reúso utilizadas no mundo, tendo sido definidos os seguintes termos:

- Adotou-se o termo “água polida”, para a água a ser lançada em um manancial, com qualidade adequada, no caso de um RPI,
- Em relação ao efluente tratado de uma EPAR de RPD, adotou-se o termo “água purificada”.

Outra definição abordada foi os critérios a serem adotados para distinguir se uma alternativa é reúso potável direto ou indireto. Para trazer subsídios a este estudo foram analisadas as normas e critérios definidos internacionalmente para o reúso de águas. Analisou-se também a legislação brasileira e paulista sobre águas e efluentes. Entre as referências internacionais consideradas nesse artigo estão:

- Critérios definidos para reúso potável na Califórnia, alguns já utilizados há alguns anos e outros ainda em fase de elaboração/ implantação;
- Sistema Upper Occoquan, no estado de Washington, EUA;
- Guidelines for Water Reuse, desenvolvido e publicado pela USEPA – United States Environmental Agency, também dos EUA.

Dada a ausência de normatização do reúso potável no Brasil, foram estabelecidos critérios para definição do RPI e do RPD. Os critérios básicos para a recepção da água polida nos reservatórios do SIM (RPI), baseados nas normas brasileiras e na experiência internacional, indicada acima, são apresentados a seguir:

- a) A água polida deve atender aos requisitos definidos na Resolução Conama 430/11.
- b) A água polida a ser lançada deve atender os limites da Resolução Conama 357/05, em relação a contaminantes potencialmente tóxicos e reconhecidamente não biodegradáveis.
- c) O Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) mínimo no reservatório deverá ser de 2 meses, considerando a vazão total afluente ao reservatório, ou seja, a vazão atual acrescida da vazão de água polida;
- d) É definida uma Zona de Autodepuração Controlada, ou ZAC, no reservatório, onde se admitem desconformidades na qualidade da água, em relação aos padrões de classe do reservatório, desde que fora desses limites a água atenda aos limites. A ZAC deverá ser definida com base em uma modelagem matemática específica.
- e) É definida uma Capacidade de Suporte (CS) para o reservatório, baseada em modelo matemático simplificado de autodepuração. A CS é definida para cada poluente particular, e representada pela carga admissível desse poluente, cujo valor deve ser tal que a concentração média do poluente no reservatório se mantenha dentro do limite da classe na qual está enquadrado o reservatório.
- f) Para efeito de aplicação desse critério específico de CS, são adotados quatro parâmetros básicos, indicadores de poluição: Fósforo total, Nitrogênio amoniacal, DBO e Condutividade.

Três dos itens acima citados merecem comentários mais detalhados.

Em relação ao item “c”, o Tempo de Detenção Hidráulica, ou TDH, de um corpo d’água é um parâmetro fundamental na avaliação da capacidade de autodepuração de um reservatório. É mais ou menos óbvio que quanto maior for o TDH em um rio ou lago, maior será a sua capacidade de autodepuração de poluentes. O critério básico adotado aqui é de que o TDH mínimo da água no reservatório, considerando-se o acréscimo de vazão representado pela água polida, seja de 2 meses.

Com base nesse critério, foi possível estimar as vazões máximas de água polida que podem ser lançadas nos reservatórios. O TDH atual, desconsiderando vazões adicionais, foi calculado pela relação:

$$TDH = \frac{V_u}{Q_T} \quad \text{equação (1)}$$

Em que:

- TDH = tempo de detenção hidráulica no reservatório
- V_U = volume útil do reservatório, na cota média de operação
- Q_T = vazão total efluente do reservatório

Os motivos que levaram ao uso desse parâmetro por entidades internacionais foram:

- Proporcionar um tempo para providências antes que águas inadequadas cheguem ao consumidor final;
- Permitir que os processos de depuração natural na água possam ocorrer de forma satisfatória.

Os limites considerados foram aqueles especificados pela Conama 357 para as classes 1 e 2, mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Limites das classes de enquadramento.

Parâmetro	Classe 1	Classe 2
N amoniacal	2,0 (*)	2,0 (*)
Fósforo total	0,02	0,03
DBO	3	5

(*) considerando-se um pH até 8,0, que é o mais comum nos reservatórios avaliados)

Para os três parâmetros acima, as resoluções Conama 357 e 430 estabelecem limites, respectivamente, para as classes de uso da água e para o lançamento de efluentes. Quanto à condutividade, o limite é definido aqui a partir dos valores máximos atuais nos reservatórios do SIM. O maior valor observado em reservatórios do SIM é da ordem de 200 $\mu\text{S/cm}$, no reservatório Billings, e que pode, em períodos de baixa vazão, chegar a 250 $\mu\text{S/cm}$. Esse máximo, portanto, é adotado aqui como limite.

No que concerne ao item “e”, a avaliação da autodepuração nos reservatórios foi feita com base no modelo simplificado clássico, de tipo equilíbrio estável (*steady state*) e mistura completa, representado pela relação matemática de Thomann e Mueller (1987):

$$C = \frac{W}{Q + kV} \quad \text{equação (2)}$$

Admitindo-se que a vazão afluyente ao reservatório é igual à vazão efluente, essa equação pode ser simplificada para:

$$C = \frac{C_0}{(1 + kT)} \quad \text{equação (3)}$$

Em que:

- W = carga total afluyente ao reservatório;
- Q = vazão média efluente do reservatório;
- V = volume útil do reservatório, na cota média de operação;
- k = constante de decaimento da substância no reservatório;
- C_0 = concentração média do poluente nas águas afluyentes ao reservatório;
- T = tempo teórico de detenção hidráulica da água no reservatório;
- C = concentração média do poluente no reservatório;

Nessa relação matemática assume-se que a concentração do poluente em qualquer ponto do reservatório é a mesma, inclusive no seu efluente. Como as concentrações variam ao longo do reservatório, considera-se que a concentração C é a concentração média no reservatório, como se o mesmo estivesse completamente misturado.

Esta mesma equação pode ser escrita como:

$$C_0 = C_L \cdot (1 + kT) \quad \text{equação (4)}$$

Em que:

- C_L = Concentração média limite para a classe de enquadramento do reservatório;
- C_0 = Concentração média nas águas afluentes ao reservatório;
- T = TDH = Tempo total de residência hidráulica no reservatório;
- k = constante de decaimento das concentrações no reservatório.

A concentração na água polida, portanto, é calculada com base na relação:

$$C_R = \frac{(C_M \cdot Q_M - C_0 \cdot Q_0)}{Q_R} \quad \text{equação (5)}$$

Em que:

- C_R = concentração na água polida
- C_M = concentração na mistura água afluente atual + água polida
- C_0 = concentração atual na água afluente
- Q_M = vazão total afluente – atual + recuperada
- Q_0 = vazão afluente atual
- Q_R = vazão de água polida

Por fim, com relação ao item “F”, a avaliação relativa à autodepuração é feita aqui para quatro parâmetros básicos:

- Fósforo total – é o parâmetro principal de avaliação da capacidade de suporte dos reservatórios para recebimento de cargas poluentes, adotado inclusive na normatização das APRM's.
- Nitrogênio amoniacal – trata-se de um importante indicador de poluição em corpos d'água superficiais, além de ser um poluente de interesse em qualquer estudo de poluição de recursos hídricos.
- DBO – é o indicador mais importante de poluição por matéria orgânica, especialmente esgotos.
- Condutividade – trata-se também de um importante indicador de poluição, especialmente quando seus valores se afastam da faixa típica das águas estudadas. Valores muito diferentes das faixas típicas naturais são indicadores de poluição.

Nessa metodologia, uma das variáveis é a qualidade da água polida para o parâmetro estudado. Para diferentes qualidades, podem ser lançadas diferentes vazões correspondentes. Visando facilitar o estudo, foram levantadas algumas possíveis categorias de qualidade dos efluentes, das quais são destacadas três:

- Remoção de Nutrientes – Básica
- Remoção de Nutrientes – Avançada
- Remoção de Nutrientes – Limite de Tecnologia

A Tabela 2 apresenta essas três categorias destacadas, a qualidade correspondente do efluente e a as possíveis tecnologias a serem empregadas para alcançar este nível de tratamento:

Tabela 2. Categorias de Qualidade de Efluentes de ETEs.

Categoria	Qualidade do Efluente	Tecnologia
Remoção de Nutrientes – Básica	<ul style="list-style-type: none"> • SST < 30 mg/L • DBO < 30 mg/L • Amônia < 2 mg/L • Nitrogênio Total < 10 mg/L • Fósforo Total < 2 mg/L 	Há uma ampla variedade de abordagens possíveis para atingir a remoção de nutrientes. Geralmente, a primeira categoria de tratamento inclui a remoção biológica básica de nitrogênio e fósforo no tratamento secundário, sem tratamento adicional.
Remoção de Nutrientes – Avançada	<ul style="list-style-type: none"> • SST < 10 mg/L • DBO < 10 mg/L • Amônia < 1 mg/L • Nitrogênio Total < 6 mg/L • Fósforo Total < 0,1 a 0,5 mg/L 	Esta segunda categoria de tratamento inclui a remoção biológica avançada de nitrogênio e fósforo no tratamento secundário e inclui normalmente algum tipo de filtração dos efluentes secundários.
Remoção de Nutrientes – Limite da Tecnologia	<ul style="list-style-type: none"> • SST < 2 mg/L • DBO < 2 mg/L • Amônia < 0,5 mg/L • Nitrogênio Total < 3 mg/L • Fósforo Total < 0,05 mg/L 	Esta categoria de tratamento inclui a remoção biológica de nitrogênio e fósforo avançada no tratamento secundário e no tratamento terciário avançado que normalmente inclui uma etapa de tratamento biológico e químico terciário, e algum tipo de filtração dos efluentes.

O estudo também estabeleceu critérios para o RPD, elencadas logo abaixo:

- a) A água purificada deve atender aos parâmetros incluídos no Anexo VII da Portaria 2914 do Ministério da Saúde que não constam da Conama 357.
- b) Além desses, a água recuperada deve atender os critérios (a) a (d) do RPI.
- c) O arranjo de processo deve atender às recomendações de remoção microbiológica (vírus, Giárdia e cryptosporidium) apresentados no Título 22, da EPA.
- d) Diluição mínima de 90% da água polida ou purificada com águas de outras fontes.

Vale destacar as recomendações para remoção microbiológica apresentadas no Título 22, da EPA:

- Remoção mínima de 12-log de vírus entérico;
- Remoção mínima de 10-log de cisto de Giárdia;
- Remoção mínima de 10-log de oocisto de Cryptosporidium.

Esses critérios nortearam a proposição de alternativas do estudo, as quais foram submetidas a uma matriz multicriterial, que estabeleceu as alternativas com maior potencial de implantação.

Quanto ao item “d”, sua importância deve-se ao fato de a diluição:

- Oferecer maior segurança sanitária, ao misturar a água purificada com outras fontes;
- Enquadrar a salinidade da água purificada, efluente de uma planta com OR (considerando que OR será a barreira final obrigatória nos arranjos de RPD neste relatório), ao padrão de potabilidade.

RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

Os critérios estabelecidos para o RPI e RPD possibilitaram um trabalho preliminar de avaliação do potencial de aproveitamento dos mananciais existentes na RMSP. Inicialmente, foram levantados dados de volume útil e vazões afluentes e efluentes de cada manancial. As Tabelas 3 e 4 apresentam um resumo dos valores obtidos para as máximas vazões admissíveis adicionais em cada manancial, levando em conta o critério de TDH > 2

meses e a Capacidade de Suporte (desconsiderando a condutividade, a qual só pode ser removida com processo de membranas de alta pressão):

Tabela 3. Máxima Vazão Admissível na Represa Guarapiranga, Represa Billings e no Rio Grande.

Critério	Unidade	Máxima Vazão Admissível (m ³ /s)								
		Guarapiranga			Billings			Rio Grande		
TDH > 2 meses	m ³ /s	21,7			187,6			17,7		
Capacidade de Suporte	-	P Total	N Amon.	DBO	P Total	N Amon.	DBO	P Total	N Amon.	DBO
<i>Remoção Básica de Nutrientes</i>	m ³ /s	0,0	> 50,0	1,4	0,0	> 50,0	0,0	0,0	> 50,0	1,6
<i>Remoção Avançada de Nutrientes</i>	m ³ /s	0,0	> 50,0	7,2	1,3	> 50,0	3,2	0,0	> 50,0	10,8
<i>Configuração Final/Limite da Tecnologia</i>	m ³ /s	0,0	> 50,0	> 50,0	9,0	> 50,0	> 50,0	0,0	> 50,0	> 50,0

Tabela 4. Máxima Vazão Admissível na Represa Paiva Castro, Represa Taiacupeba e na Represa Isolina.

Critério	Unidade	Máxima Vazão Admissível (m ³ /s)								
		Paiva Castro			Taiacupeba			Isolina		
TDH > 2 meses	m ³ /s	0,0			0,0			0,0		
Capacidade de Suporte	-	P Total	N Amon.	DBO	P Total	N Amon.	DBO	P Total	N Amon.	DBO
<i>Remoção Básica de Nutrientes</i>	m ³ /s	0,0	> 50,0	0,0	0,0	> 50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Remoção Avançada de Nutrientes</i>	m ³ /s	0,0	> 50,0	0,0	0,0	> 50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Configuração Final/Limite da Tecnologia</i>	m ³ /s	0,0	> 50,0	0,0	0,0	> 50,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Observa-se que, dentre os reservatórios contemplados, os que apresentam potencial de utilização para o RPI (considerando o critério de TDH) são a Billings, o Guarapiranga e o Rio Grande, embora estes dois últimos apresentem valores significativamente menores que a Billings. Quanto aos reservatórios com o valor 0,0 m³/s, considera-se que ou o tempo de detenção é insuficiente, ou não há capacidade suporte para o parâmetro em questão. Na prática isto significa que qualquer alternativa que os considere será enquadrada como RPD.

Observa-se também que os reservatórios Paiva Castro, represa Taiacupeba e Isolina não apresentam qualquer condição para recebimento de efluentes no âmbito de um RPI, não apenas sob o critério de TDH mas também sob o critério da Capacidade de Suporte. A Represa Guarapiranga e o Rio Grande têm seu aproveitamento inviabilizado por conta do fósforo, parâmetro extremamente restritivo em reservatórios. No caso da Guarapiranga, os resultados da simulação apontam que o aporte de água polida é inviável para a restrição de um máximo de 0,03 mg/L de Fósforo na represa. Isso se deve ao fato de que a concentração média afluenta à represa já é superior ao valor máximo exigido. No entanto, nos reservatórios que se tornaram inviabilizados unicamente pelo parâmetro fósforo, foi considerada a possibilidade futura de melhora nas condições atuais do reservatório e de seu entorno, com possibilidade de aproveitamento futuro nas alternativas de reúso.

O único manancial que permanece passível de aproveitamento para RPI, mesmo nas atuais condições, sob os aspectos estudados, é a Represa Billings.

Em relação aos critérios estabelecidos para o RPD, foram avaliados 2 pontos principais. Em primeiro lugar, foram estudados os possíveis arranjos de processo, que possibilitam a remoção microbiológica pré-definidas e a implementação de barreiras múltiplas para outros parâmetros.

De maneira geral, com possíveis processos alternativos, um arranjo de processo pode ser configurado conforme a Figura 1:

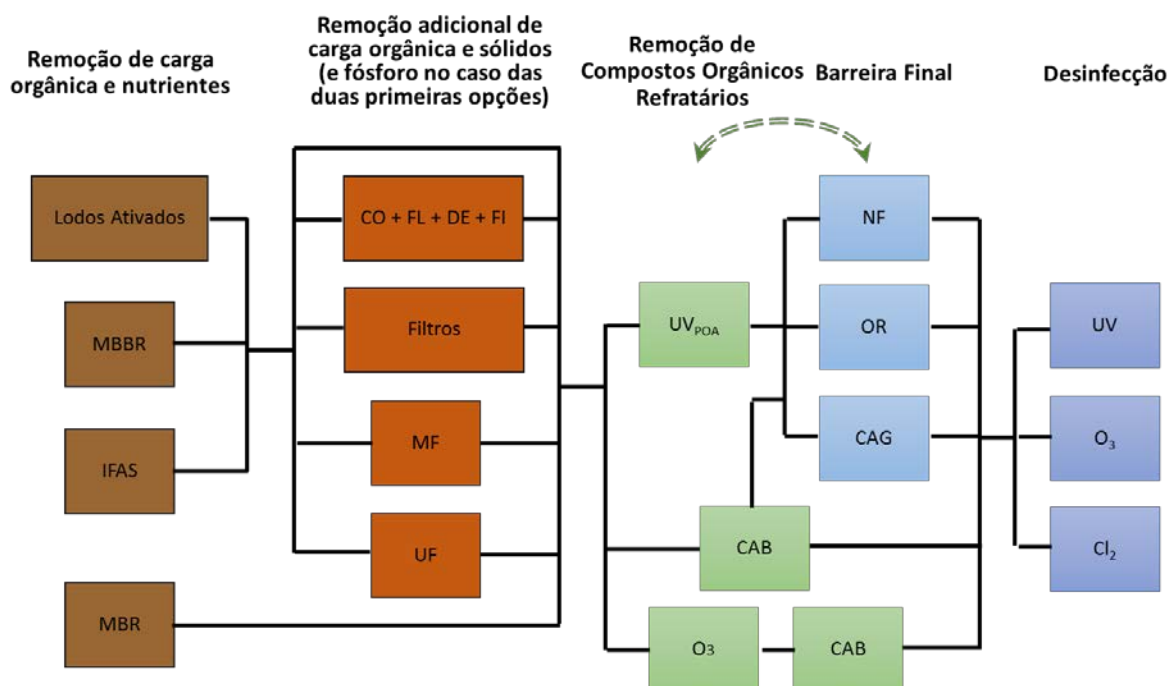


Figura 1. Configurações do Arranjo de Processo.

Em que:

- MBBR – *Moving Bed Biofilm Reactor*
- IFAS – *Integrated Fixed-Film Activated Sludge*
- MBR – *Membrane Bioreactor*
- CO + FL + DE + FI – Coagulação + Floculação + Decantação + Filtração
- MF – Membranas de Microfiltração
- UF – Membranas de Ultrafiltração
- NF – Membranas de Nanofiltração
- OR – Membranas de Osmose Reversa
- O₃ – Ozônio
- UV – Radiação Ultravioleta, com o objetivo de promover a desinfecção
- UV_{POA} – Radiação Ultravioleta, como processo oxidativo avançado
- CAG – Carvão Ativado Granular
- CAB – Carvão Ativado Biológico
- Cl₂ – Cloração

Crook (2015) sugere que os arranjos para RPD tenham como barreira final qualquer dessas 3 tecnologias: osmose reversa (OR), nanofiltração (NF) ou carvão ativado granular (CAG). Alguns arranjos possíveis com as barreiras finais citadas são apresentados nas Figuras 2, 3 e 4:

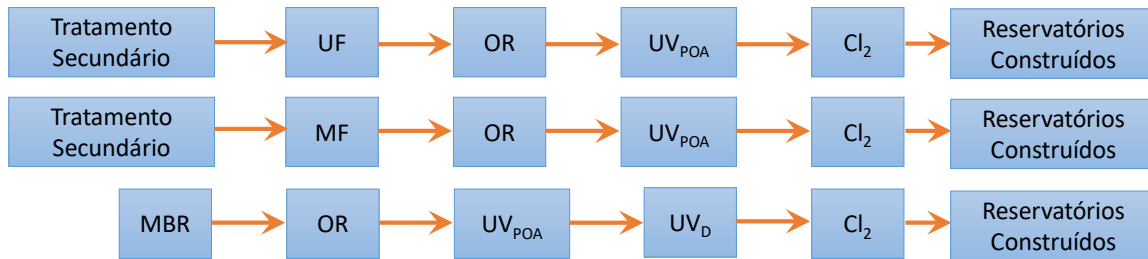


Figura 2. Arranjos de Processo com OR como Barreira Final.

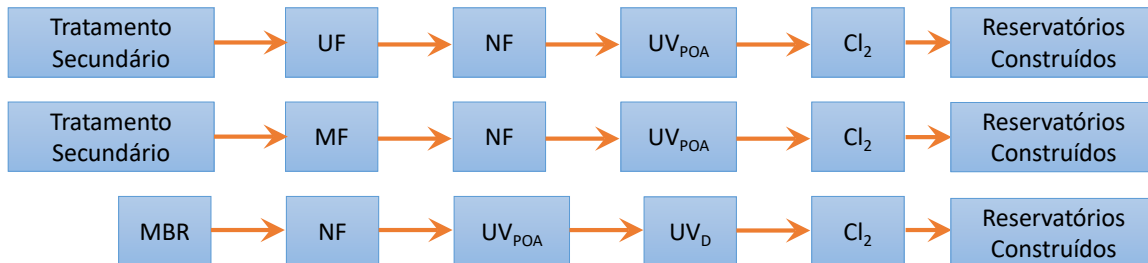


Figura 3. Arranjos de Processo com NF como Barreira Final.

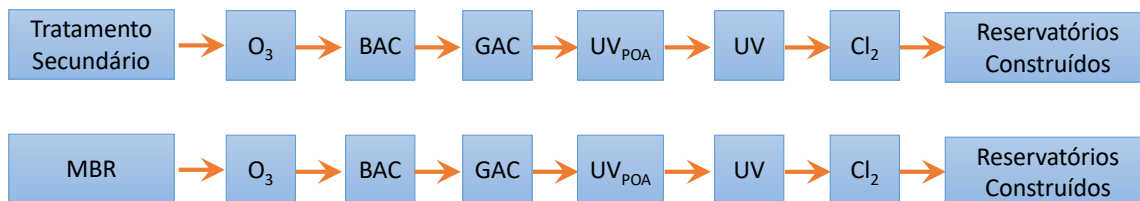


Figura 4. Arranjos de Processo com CAG como Barreira Final.

O tratamento secundário, apresentado nas figuras, compreende os processos aeróbios mais comuns, como lodos ativados, MBBR e IFAS, incluindo a remoção biológica de nutrientes. Todos os processos apresentados atendem aos requisitos de tratamento para RPD, inclusive os critérios microbiológicos. No entanto, alguns comentários podem ser tecidos:

- Os processos com OR como barreira final tendem a ser bastante compactos; no entanto, apresentam altos custos de implantação e operação, superiores aos demais arranjos. O custo de manejo e disposição do concentrado é elevado, podendo ser reduzido consideravelmente em áreas litorâneas, onde o oceano se torna uma opção de disposição. No entanto, é um processo consideravelmente seguro.
- Os processos com NF como barreira final são similares aos com OR. Compactos, com altos custos de implantação e operação (apesar de inferiores aos com OR) e seguros. Têm como desvantagem, no entanto, o fato de ainda serem pouco aplicados no mundo e em nenhuma planta de reúso potável.
- Os processos com CAG como barreira final apresentam menos barreiras para os parâmetros físico-químicos que os demais arranjos, além de não apresentar qualquer barreira para os sais.

Optou-se, neste estudo, utilizar apenas os arranjos relativos à OR como barreira final, dada a maior segurança sanitária que ela oferece (em relação aos processos com CAG) e maior aplicabilidade no mundo (em relação aos processos com NF).

Quanto à diluição, como se trata de um critério ainda sem referências consolidadas, optou-se, neste estudo, por adotar-se um valor à favor da segurança, de apenas 10%. Em outras palavras, a água purificada, em alternativas de RPD, não deve exceder 10% do total da vazão de água onde ela for lançada. A Tabela 5 apresenta a máxima vazão admissível de água purificada em cada ETA do Sistema Integrado Metropolitano:

Tabela 5. Máxima Vazão Admissível nas ETA's em Alternativas de RPD.

ETA	Capacidade (m³/s)	Máxima Vazão Admissível em RPD (m³/s)
Guaraú	33,0	3,3
RJCS	16,0	1,6
Taiapuê	15,0	1,5
Rio Grande	5,5	0,55
Casa Grande	4,0	0,40
Morro Grande (Alto Cotia)	1,2	0,12
Baixo Cotia	0,90	0,09
Ribeirão de Estiva	0,10	0,010
Embu-Guaçu	0,15	0,015

Neste estudo, foram consideradas apenas alternativas com capacidade mínima de 1,0 m³/s. Desta maneira, pode-se excluir a maioria das ETA's, para alternativas de reúso. Mantêm-se apenas a ETA Guaraú, a ETA RJCS e ETA Taiapuê no rol de alternativas.

Com base nas considerações acima, foram propostas 14 alternativas de reúso para a RMSP. A Tabela 6 apresenta uma lista com as características dessas alternativas propostas:

Tabela 6. Lista de Alternativas Estudadas para Reúso Potável Direto e Indireto.

Alternativa	Nome	Buffer	ETA	Tipo	Capacidade (m³/s)
I	EPAR Barueri I	Represa Billings – Corpo Central	Nova ETA	RPI	9,5
II	EPAR Barueri II	Represa Isolina	ETA Baixo Cotia	RPD	1,0
III	EPAR Barueri III	Paiva Castro	ETA Guaraú	RPD	3,3
IV-A	EPAR Barueri IV	Guarapiranga	ETA RJCS	RPI	9,5
IV-B	EPAR Barueri IV	Rio Embu-Mirim e Guarapiranga	ETA RJCS	RPI	9,5
V	EPAR Guarapiranga	Guarapiranga	ETA RJCS	RPI	2,0
VI	EPAR ABC I	Braço do Rio Grande	ETA Rio Grande	RPI	2,0
VII	EPAR ABC II	-	-	RPD	0,60
VIII-A	EPAR PNM I-A	-	-	RPD	0,50
VIII-B	EPAR PNM I-B	-	Guaraú	RPD	2,5
IX	EPAR PNM II	Billings	Nova ETA	RPI	7,2
X	EPAR PNM III	Paiva Castro	ETA Guaraú	RPD	2,5
XI	EPAR São Miguel Paulista	-	-	RPD	0,193
XII	EPAR São Miguel Paulista II	Represa Taiacupeba	ETA Taiacupeba	RPD	1,5
XIII	EPAR São Miguel Paulista III	Paiva Castro	ETA Guaraú	RPD	3,3
XIV	EPAR Suzano	Represa Taiacupeba	ETA Taiacupeba	RPD	1,5

As Alternativas acima apresentadas podem ser enquadradas nas categorias de RPI e RPD, conforme apresentado na Tabela 7:

Tabela 7. Alternativas propostas e seus tipos de reúso

Fonte	Categoria	
	RPI	RPD
Alternativas	I, IV-A, IV-B, V, VI e IX	II, III, VII, VIII-A, VIII-B, X, XI, XII, XIII e XIV

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados se concentrou em duas vertentes: a primeira referente aos aspectos legais sobre reúso, com proposições de mudanças e melhorias; a segunda referente às alternativas propostas e à avaliação de suas potencialidades.

No que concerne aos aspectos legais, não existe lei ou norma específica para reúso de água para fins potáveis no país, sendo necessária a formulação de norma específica, que estabelece os conceitos e os critérios específicos para essa atividade.

O Decreto Estadual nº 8.468/1976, que trata do enquadramento dos corpos hídricos do Estado, é anterior à Resolução CONAMA 357/2005. O Decreto estadual estabelece 4 classes de enquadramento: Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4, cada qual destinada aos usos preponderantes. Já a Resolução CONAMA estabelece 5 classes: Classe Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4, em todo território nacional.

Em relação aos usos a que se destina, a Classe 1 do Decreto nº 8.468/1976 equivale à Classe Especial da Resolução CONAMA nº 357/2005, ainda que haja incompatibilidades nos critérios de enquadramento. Nesse sentido, prevalece a norma federal, a menos que a estadual seja mais restritiva. Como recomendação, há que se proceder a uma revisão do Decreto estadual, de modo a compatibilizá-lo com a Resolução CONAMA, de nível federal.

Vale destacar ainda que, apesar de o Decreto nº 8.468/1976 admitir a possibilidade de uso dos corpos de água de Classe 4 para abastecimento doméstico, com tratamento avançado, a Resolução CONAMA nº 357/2005 modificou essa possibilidade, e por ser uma norma de aplicabilidade nacional, **passou a ser proibida a captação em corpos hídricos ou em trecho de corpos hídricos de Classe 4.**

Além disso, o Decreto nº 8.468/1976 e a Resolução CONAMA nº 357/2005 não toleram o lançamento de efluentes, mesmo tratados, nas águas de Classe 1. Contudo, a partir de 1998, no Estado de São Paulo, para os corpos de água que já recebiam contribuição de efluentes sanitários de origem doméstica, desde que comprovada a inviabilidade técnica ou econômica da infiltração ou reversão para outras bacias, passou a ser permitido esse lançamento, desde que tais esgotos estejam devidamente tratados e cumpram outras condições previstas no artigo 10, parágrafo único do Decreto.

Considerando que, predominantemente os mananciais utilizados para abastecimento público na RMSP pertencem à Classe 1 e que o Decreto nº 8.468/1976 veda o lançamento de esgoto tratado de outras bacias nesses corpos, o leque de alternativas de reúso reduz sensivelmente. Desta maneira, torna-se necessário: ou planejar o reúso a partir de águas remanescentes da RMSP; ou planejar o reúso apenas a partir de esgotos gerados na própria bacia do manancial utilizado no Reúso Indireto Potável; ou alterar a lei.

Outro ponto importante é que o esgotamento sanitário constitui-se pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados do esgoto, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente. Não há previsão legal para a ligação de efluentes na rede de distribuição de água, o que significa que o reúso direto para o consumo humano nessa condição não possui base legal no país.

Considerando o conceito fixado pelo Decreto nº 5.440, de 4-5-2005, que estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento, o sistema de abastecimento de água para consumo humano é a instalação composta por conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinada à produção e à distribuição canalizada de água potável para populações. Essa definição não se caracteriza como “meio ambiente”, que é a destinação legalmente prevista pela Lei nº 11.445/2007, para o esgoto, após o tratamento, confirmando a inexistência de base legal para o reúso direto de água potável.

Na formulação de uma norma específica sobre o reúso de água para fins potáveis, um ponto importante a ser definido seria a fixação de critérios objetivos e fundamentados para a escolha dos processos de tratamento, exigindo, por exemplo, múltiplas barreiras, e do *buffer* ambiental a ser utilizado, além dos critérios de tempo

de retenção mínimo no reservatório após o lançamento do efluente tratado, ponto específico o qual se buscou fazer uma proposição neste estudo.

Como referência mundial de legislação para reúso potável indireto, encontram-se as regulamentações do estado da Califórnia, que, embora sejam extremamente restritivas, fornecem critérios objetivos para uma diversidade de parâmetros, inclusive compostos emergentes sem riscos documentados, bem como estabelece critérios de projeto, como uso obrigatório de tecnologia de osmose reversa para remoção desses compostos e tempo de retenção mínimo em “*buffer*” ambiental de 2 meses.

Como não há uma estrutura regulatória específica para o reúso potável no país, considerou-se, neste trabalho, as normas para lançamento de efluentes em corpos d’água superficiais. A implementação de sistemas RPI, portanto, deve atender a essas normas legais, sendo que, algumas delas carecem de atualização em função dos avanços ocorridos nos últimos 20 a 30 anos, nas áreas tecnológica e ambiental.

O Decreto Estadual 8468/76, por exemplo, foi promulgado há 40 anos. Nele estão especificadas as normas de lançamento de efluentes em corpos d’água superficiais (Art. 18). Uma das restrições impostas por esse Decreto é a proibição de lançamento de efluentes, mesmo tratados, em corpos d’água de Classe 1. Ocorre que, nesses 40 anos, houve uma evolução muito grande nas tecnologias de tratamento de água e efluentes, que permitem, a partir de efluentes urbanos, obter águas com qualidade superior àquela especificada para a Classe 1, o que torna um contrassenso proibir o lançamento de uma água dessas em um rio ou reservatório de Classe 1.

Outro aspecto decorrente dessa legislação, este de grande importância aqui, é o fato de que muitas das restrições impostas pelas normas, especificamente aquelas voltadas para a proteção dos mananciais, torna praticamente inviável qualquer solução de aproveitamento de águas recuperadas, para aumento da disponibilidade de água para abastecimento.

A crise hídrica pela qual passou a RMSP incita-a a uma reavaliação dessas restrições com vistas a uma maior segurança hídrica. O reaproveitamento de águas para aumento de vazão de mananciais de abastecimento é uma solução que vem sendo implementada cada vez mais, e com maior amplitude, no mundo todo, pelo seu forte cunho de sustentabilidade, hoje uma prioridade em todo o mundo.

No que concerne à análise das alternativas propostas neste estudo, foi realizada uma avaliação de seu potencial de implantação, com base em uma matriz multicriterial. Os critérios utilizados na matriz são abaixo elencados:

- Ausência de leis ou decretos que impeçam (ao menos no momento) a implantação da alternativa. Foi feita uma abordagem jurídica acerca das alternativas analisadas neste relatório indicando eventuais problemas legais, a exemplo do impedimento legal para o lançamento de água purificada em águas classe 1 a alternativa depende da alteração da legislação que revogue os atuais impeditivos.
- A presença de normas que forneçam os critérios necessários para o desenvolvimento do projeto. Este critério constitui em uma dificuldade para a implantação das alternativas de RPD, as quais ainda necessitam de uma normatização no país. É importante destacar que o estudo sobre o reúso (direto e indireto) ora efetuado destina-se ao abastecimento de água potável, experiência inexistente no país e que necessita de regulamentação própria, com a edição de norma específica, estabelecendo as condições para o reúso com finalidades potáveis;
- Ausência de cargas industriais elevadas na fonte. Um aspecto que deve ser destacado é se a ETE recebe de efluentes não domésticos (END’s) de indústrias da região, o que representa um risco importante para a segurança sanitária do uso do efluente dessa ETE e que demandará a implementação, na medida do possível de medidas no sentido de segregar os END’s recebidos na ETE, encaminhando-os para um tratamento em separado.
- Ausência de grandes empecilhos institucionais.
- Menor custo de implantação.
- Baixo custo de operação e manutenção. Plantas com osmose reversa apresentam custo muito elevado, tanto para a operação das membranas quanto para a disposição do concentrado. O tratamento por osmose reversa exige uma disposição adequada do rejeito gerado.

Assim, a partir das condições legais e técnicas observadas foi possível elencar as melhores alternativas no momento com grande potencial de implantação para o reúso potável na RMSP. Ressalta-se que essa hierarquização tem um caráter conjuntural que pode ser alterado futuramente, em função de eventuais situações não previstas no momento, principalmente devidas à evolução da legislação brasileira referente a esse tema. O intuito, portanto, foi possibilitar uma melhor visualização das alternativas mais viáveis dentro das condições atuais para compor um mosaico mais completo de alternativas para a ampliação da segurança hídrica para o abastecimento de água da RMSP.

Para cada critério, foram utilizadas três legendas, ilustradas na Tabela 8:

Tabela 8. Legenda da Tabela de Hierarquização das Alternativas de Reúso.

Legenda	Descrição
✓	A alternativa atende ao critério
X	A alternativa não atende ao critério
-	É difícil de definir se a alternativa atende ou não ao critério

A Tabela 9 apresenta os resultados dessa verificação das alternativas:

Tabela 9. Critérios para hierarquização das alternativas de reúso.

Alternativa	Descrição	Critérios							
		a	b	c	d	e	f	g	h
I	RPI – ETE Barueri para Billings	✓	✓	X	✓	X	✓	✓	✓
II	RPD – ETE Barueri para Isolina	✓	X	X	X	✓	-	X	X
III	RPD – ETE Barueri para Paiva Castro	X	X	X	✓	✓	X	X	X
IV-A	RPI – ETE Barueri para Guarapiranga	X	✓	X	✓	✓	✓	X	✓
IV-B	RPI – ETE Barueri para Rio Embu Mirim	X	✓	X	✓	✓	✓	X	✓
V	RPI – Interceptor Pinheiros (IPI-7) para Guarapiranga	X	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓
VI	RPI – ETE ABC para Represa Rio Grande	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
VII	RPD – ETE ABC para Rede de Distribuição	✓	X	✓	X	X	X	X	X
VIII-A	RPD – ETE PNM para Rede de Distribuição	✓	X	✓	X	✓	X	X	X
VIII-B	RPD – ETE PNM para Guaraú	✓	X	✓	✓	✓	X	X	X
IX	RPI – ETE PNM para Billings	X	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
X	RPD – ETE PNM para Paiva Castro	X	X	✓	✓	✓	X	X	X
XI	RPD – ETE SMP para Rede de Distribuição	✓	X	X	X	✓	X	X	X
XII	RPD – ETE SMP para Taiaçupeba	X	X	X	✓	✓	-	X	X
XIII	RPD – ETE SMP para Paiva Castro	X	X	X	✓	✓	X	X	X
XIV	RPD – ETE Suzano para Taiaçupeba	X	X	X	✓	✓	-	X	X

Para cada alternativa, foi avaliada a quantidade de critérios não atendidos. As alternativas então foram divididas em 3 diferentes categorias, com base na quantidade de restrições observadas:

- Categoria I (Grande Potencial de Implantação) – De 0 a 2 restrições;
- Categoria II (Relativo Potencial de Implantação) – De 3 a 4 restrições;
- Categoria III (Baixo Potencial de Implantação) – De 5 a 8 restrições.

A Tabela 10 apresenta as três categorias citadas com as alternativas que as compõem:

Tabela 10. Categorias Relativas ao Potencial de Implantação das Alternativas.

Categoria	Alternativas
I – Grande Potencial de Implantação	I, V, VI e IX
II – Relativo Potencial de Implantação	IV-A, IV-B, VIII-B, XVI, XVII e XVIII
III – Baixo Potencial de Implantação	II, III, VII, VIII-A, X, XI, XII, XIII, XIV e XV

Com base na Tabela 10, as alternativas com maior potencial de implantação pela SABESP são:

- Alternativa VI (Aquapolo II) – RPI da ETE ABC para a Represa Rio Grande;
- Alternativa I – RPI do efluente da ETE Barueri para a Represa Billings;
- Alternativa V – RPI do IPI-7 para a Represa Guarapiranga;
- Alternativa IX – RPI da ETE PNM para a Represa Billings.

Observa-se que 3 ETE's estão contempladas nessa categoria: a ETE Barueri, a ETE ABC e a ETE PNM. Além disso, 3 mananciais são contemplados nessa categoria: Represa Billings, Represa Guarapiranga e Represa Rio Grande. Cabe citar que tanto a Alternativa I quanto a Alternativa IX tem a Represa Billings como alvo do lançamento da água polida. Isto, na prática, significa que essas alternativas são excludentes. Essa variabilidade favorece consideravelmente a realização de reúso, na medida em que há várias opções de ETE's e mananciais. Por fim, observa-se que todas as alternativas dessa categoria correspondem à categoria de RPI, o que mostra que o RPD ainda apresenta mais restrições à sua implantação do que o RPI.

Dentre as alternativas estudadas neste relatório, a Alternativa VI foi vitoriosa em relação aos critérios apresentados. Como a represa Rio Grande é classe 2, a legislação permite o lançamento de efluentes na represa. Além disso, a ETE ABC fica relativamente próxima do ponto de lançamento, o que reduz os custos de adução. A larga experiência com reúso nessa ETE e a grande probabilidade de alteração da concepção de processo da ETE para fim de plano também se apresentam como vantagens.

A alternativa II apresenta grande dificuldade de implementação, por tratar-se de uma alternativa de RPD e com baixa vazão de projeto. No entanto, ela apresenta algumas vantagens bastante interessantes para a SABESP como:

- O fato de o rio Cotia estar enquadrado na classe 3 neste trecho;
- A proximidade com a ETE Barueri, que deverá ter sua concepção de processo alterada para outro com membranas de ultrafiltração;
- O fato de que o efluente da ETE Barueri (com esta nova concepção) apresentar certamente qualidade superior à água bruta do rio Cotia;
- A existência de um projeto de adequação da ETA Baixo Cotia.

Deste modo, como a implantação de um sistema de RPD na RMSP com capacidade elevada exigirá a implantação de um sistema piloto anteriormente, recomenda-se que esta alternativa seja utilizada como projeto piloto. Isto permitirá à SABESP, a um custo relativamente baixo (devido à baixa vazão da alternativa), obter experiência na operação de plantas com esta complexidade e trabalhar a imagem do RPD com o público, facilitando a implantação de sistemas maiores desse tipo futuramente.

Por fim, finalizou-se o estudo com uma proposta de um plano de implantação das alternativas de reúso, com apontamentos para as revisões legais e normativas, para a aceitação pública e para implantação efetiva das alternativas, com destaque aos aspectos técnicos.

CONCLUSÕES

Conclui-se, portanto, que existe um potencial importante de aproveitamento das águas remanescentes na RMSP, bem como dos efluentes das ETE's do Sistema Principal de Esgotos. As condições políticas, econômicas, sociais, legais, etc, vão nortear a escolha da melhor alternativa a ser implantada na ocasião da decisão de implantação do reúso. Este relatório elencou diversas alternativas e as classificou em função do potencial de implantação, em face das condições atuais. Nada disso impede, no entanto, que alternativas consideradas hoje com baixo potencial de implantação possam tornar-se mais interessantes no futuro.

Um tópico que deve ser alvo de revisões são os aspectos legais e normativos sobre o reúso no Brasil e em SP. A seguir são expostas as principais necessidades legais e normativas para que o reúso potável seja implantado na RMSP:

- Revisão do Decreto Estadual 8.468/1976, visando adequá-la às Resoluções CONAMA 357/2005 e 430/2011.
- Revisão da proibição de lançamento de efluentes em águas classe 1 (Decreto Estadual nº 8.468/1976).
- Revisão da proibição de lançamento de efluentes em águas de classe especial pela CONAMA 357/2005.
- Alteração da Resolução CONAMA 430/2011 para descaracterizar como efluente o produto do tratamento das águas remanescentes, de modo que não se aplique a proibição de lançamento desses recursos (águas remanescentes tratadas) em mananciais.
- Normatização do reúso potável, direto e indireto, no país.

Além disso, algumas recomendações fazem-se necessárias, independentemente da decisão de implantar ou não o reúso em curto prazo na SABESP:

- É importante que a SABESP invista na sua imagem junto à população, com vistas à confiabilidade da sua marca frente aos processos de tratamento e garantia da qualidade dos seus serviços.
- É importante que a SABESP se organize internamente para montar um Plano de Comunicação Social sobre o Reúso, de modo que, desde já, a população da RMSP seja preparada para uma eventual necessidade de implantação do reúso no futuro.
- A SABESP deve participar da elaboração do Plano de Ações Para Instituir uma Política Nacional de Reúso de Efluente Tratado que está sendo desenvolvido pelo Ministério das Cidades através do - Programa de Desenvolvimento do Setor Água – INTERÁGUAS.
- Por fim, desde já, a SABESP deve participar da revisão das leis e normas concernentes ao reúso, de forma que haja menos empecilhos legais à implantação das alternativas quando assim for necessário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.
2. CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo, 2014.
3. CROOK, James; "Potable Reuse Policies and Regulations in the USA", 2nd International Symposium on Water Reuse, 28 de abril de 2015.
4. "Elaboração Plano Diretor para Aproveitamento de Recursos Hídricos as Macrometrópole Paulista", COBRAPE, Outubro, 2013.
5. EPA Guidelines for Water Reuse, CDM, 2012.
6. ESTADO DE SÃO PAULO. Lei nº 997, Decreto nº 8468, de 08 de setembro de 1976.

7. HINTON, K. & NEED, A. Las Vegas: Direct Potable Reuse. School of Public and Environmental Affairs Honor's Thesis. Abril de 2014.
8. http://www.waterboards.ca.gov/drinking_water/certlic/drinkingwater/Lawbook.shtml, site da California Environmental Protection Agency, State Water Resources Control Board, 2016.
9. Leverenz, H. L., Tchobanoglous, G., Asano, T. – Direct Potable Reuse: A Future Imperative. Journal of Water Reuse and Desalination 01, n.1, 2011.
10. PDAA – Plano Diretor de Abastecimento de Água, 2004.
11. SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de Paulo – Revisão e Atualização do Plano Diretor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP. Relatório Parcial RP07, 2016.
12. SABESP – Plano Diretor de Esgotos da Região Metropolitana de São Paulo – PDE-10, 2010.
13. SABESP – Revisão e Atualização do Plano Diretor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de São Paulo, Relatório RP-07, dezembro de 2016.
14. SABESP. Seminários do PLAMTE sobre Reúso Potável da ETE PNM. Mar/2015.
15. Tchobanoglous, H., Leverenz, Nellor, M. H., Crook, J. Direct Potable Reuse – A Path Forward (2011). Water Reuse Research Foundation, 2011.
16. “TITLE 22 CODE OF REGULATIONS”, Regulations Related to Recycled Water, California Department of Public Health, 2014.
17. US EPA-United States Environmental Protection Agency, “2012 Guidelines for Water Reuse”, CDM Smith, 2012.
18. USEPA. Manual Guidelines for Water Reuse. Office of Water. EPA/625/R-92/004. Washington. 1992. Public Information Programs; p.165-178.