

TRATAMENTO DA ÁGUA PARA REUSO NA LAVAGEM AUTOMOTIVA

WATER TREATMENT FOR REUSE IN AUTOMOTIVE WASHING

244

Ruan Carvalho¹; Paulo Duarte²; Ricardo da Silva Manca³

1- Bacharel em Química, graduado pela Faculdade Municipal Prof. Franco Montoro – FMPFM (Mogi Guaçu/São Paulo).

2- Engenheiro Químico, graduado pela Universidade de São Paulo – USP (Lorena/São Paulo). Especialização em Papel e Celulose – USP/São Paulo. MBA em Marketing pela Escola Superior de Propaganda e Marketing – ESPM, São Paulo.

3- Engenheiro Ambiental, graduado pelo Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal – UNIPINHAI (Espírito Santo do Pinhal/São Paulo). Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos pela Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP (Campinas/São Paulo). Doutor em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP e atualmente é pesquisador de pós-doutorado na Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP. Professor e Coordenador dos Cursos de Engenharia Ambiental e Engenharia Química da Faculdade Municipal Prof. Franco Montoro, Mogi Guaçu, São Paulo.

Contato: ricardomanca@gmail.com

RESUMO

O objetivo do estudo é a demonstração da viabilidade técnica e parcial econômica de um sistema de tratamento de água de lavagem de veículos para o reuso. Para tanto o levantamento bibliográfico do assunto foi realizado como ferramenta para o desenvolvimento do estudo. Foram realizadas análises químicas e ensaios de “JAR TEST” em amostras coletadas no lava-rápido do Auto Posto Parque Cidade Nova na cidade de Mogi Guaçu, S.P., a fim de comprovar a viabilidade do reuso da água de lavagem de veículos utilizando tratamento simples de “coagulação e filtração”. Os resultados demonstraram ser possível atender a norma estabelecida pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), que determina as especificações para o reuso de água de lavagem de veículos. O balanço mássico para o contaminante “teor de sólidos dissolvidos” que não teve boa remoção no tratamento foi realizado para determinar os limites máximos de reciclo da água tratada com o objetivo de não ultrapassar limites máximos permitidos, sem prejuízo de danos aos veículos durante as lavagens. O balanço permitiu identificar a possibilidade de reutilizar 63% da

água, com base nas tarifas cobradas pela SAMAE Mogi Guaçu em 2017, com um sistema de reuso trabalhando neste percentual é possível ter uma economia de 25 m³ de água/mês, em valores, R\$325,30/mês (77,41%) na conta de água atual. Ao final recomenda-se a utilização do sistema proposto de reuso de água, que trará benefícios financeiros, qualitativos em relação à água, ambientais e atendimento a legislação estadual.

Palavras-chave: Água de Reuso; Tratamento de Água; Lava-rápido.

ABSTRACT

The aim of this study is to demonstrate the technical and partial economic viability of a vehicle wash water treatment system for reuse. For this purpose, the bibliographic survey of the subject was performed as a tool for the development of the study. Chemical analyzes and "JAR TEST" tests were carried out on samples collected in the car wash of the Auto Posto Parque Cidade Nova in the city of Mogi Guaçu, SP, in order to prove the viability of the reuse of vehicle wash water using simple treatment of "coagulation and filtration". The results showed that it is possible to meet the standard established by the São Paulo State Basic Sanitation Company (SABESP), which determines the specifications for reuse of vehicle wash water. The mass balance for the contaminant "dissolved solids content" that was not well removed in the treatment was carried out to determine the recycled maximum limits of the water in order to not exceed maximum limits allowed, without prejudice to damages to the vehicles during the washes. The balance allowed to identify the possibility of reusing 63% of the water, based on the tariffs charged by SAMAE Mogi Guaçu in 2017, with a reuse system working on this percentage it is possible to have a saving of 25 m³ of water per month, in values, R\$ 325.30 per month (77.41%) in the current water bill. At the end it is recommended to use the proposed system of water reuse, which will bring financial, qualitative benefits in relation to water, environmental and compliance with state legislation.

Keywords: Wastewater; Water Treatment; Car Wash.

INTRODUÇÃO

A água é indispensável para a existência de praticamente todas as atividades do Homem realizadas sobre a Terra, sejam elas urbanas industriais ou agropecuárias. A água é essencial para a ampla existência da vida no Planeta. A baixa disponibilidade de água doce no planeta, 0,04% disponível para consumo em rios e lagos, nos quais grande parte já se encontra poluída (DAE, 2014) e a escassez da mesma em algumas regiões faz com que haja uma preocupação a respeito do uso e consumo desse recurso extremamente importante.

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP, 2004), afirma que o descarte de efluentes industriais e de esgoto urbano sem

tratamento, vem comprometendo a qualidade dos mananciais das regiões metropolitanas. Em algumas regiões do Brasil o tratamento de esgotos sanitários já se faz presente, porém ainda em processo de implantação, não atendendo à grande maioria da população e conseqüentemente não sendo suficiente para a manutenção de padrões mínimos de qualidade dos corpos receptores.

O "reuso" reduz a demanda sobre os mananciais de água devido à substituição da água potável e para fins nobres por uma água de qualidade inferior, utilizada para fins menos nobres. Essa prática, atualmente muito discutida e já utilizada em alguns países é baseada no conceito de evitar a de captação dos mananciais, reduzindo o consumo do mesmo. Isto é possível em função da qualidade requerida para um uso específico ser menor. Dessa forma, grandes volumes de água potável podem ser poupados pelo reuso quando se utiliza água de qualidade inferior (geralmente efluentes pós-tratados) para atendimento das finalidades que podem prescindir desse recurso dentro dos padrões de potabilidade.

No Brasil a SABESP está promovendo estudos para venda, via caminhões tanque, dos efluentes tratados por suas estações de tratamento de esgotos para empresas transportadoras ou postos lava-rápido que estejam interessados. Para isto estão sendo estudadas as variáveis de qualidade da água a ser fornecida, de forma que não cause danos aos veículos e operadores dos sistemas e também, propicie uma tarifa atrativa aos empresários. Ainda em São Paulo, sabe-se da existência de alguns poucos postos de serviços, lava-rápidos e empresas transportadoras de cargas e de passageiros que possuem sistemas que promovem a recirculação da água utilizada na lavagem de seus veículos. (SABESP, 2004)

Uma das formas de reuso de água que vem ganhando destaque em muitos países é a destinada à lavagem de veículos. Não se pode negar que milhares de L de água potável são desperdiçados nesta prática atualmente. Nos Estados Unidos, Japão e alguns países da Europa, já existem legislação própria para o assunto, regulamentando a instalação dos sistemas de lavagem de veículos, de pequeno ou grande porte, obrigando à instalação de dispositivos de tratamento dos efluentes proveniente destes processos e solicitando a implantação de equipamentos que promovam a recirculação da água utilizada (LEITÃO, 1999).

No sentido de investigar a possibilidade de reuso da água de forma prática, o presente trabalho teve como objetivos analisar os efluentes gerados na lavagem de veículos de um lava rápido, a partir de testes realizados nas amostras, definindo-se a melhor dosagem de coagulante e alcalinizante para obter o melhor grau na remoção de impurezas. Complementa-se o estudo com o balanço de massa para um tratamento de água de reuso, determinando ciclos de concentração prováveis para contaminantes que não são retirados no tratamento e podem prejudicar os veículos, e assim, permitir a proposta de um sistema de tratamento adequado e viável economicamente.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Agência de Proteção Ambiental dos USA (EPA, 2004), lançou um documento onde foram classificados os tipos de reuso em diferentes modalidades, de acordo com seus usos e finalidades, a saber:

247

- **Reuso indireto:** ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída. Trata-se da forma mais difundida onde a autodepuração do corpo de água é utilizada, muitas vezes sem controle, para degradar os poluentes descartados com o esgoto *in natura*;
- **Reuso direto:** é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável. Exige a concepção e implantação de tecnologias apropriadas de tratamento para adequação da qualidade do efluente à estação à qualidade definida pelo uso requerido;
- **Reciclagem interna:** é o reuso da água internamente as instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição. É constituído por um sistema em ciclo fechado onde a reposição de água de outra Fonte deve-se às perdas e ao consumo de água para manutenção dos processos e operações de tratamento;
- **Reuso potável direto:** ocorre quando o esgoto recuperado, através de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável. É praticamente inviável devido ao baixo custo de água nas cidades brasileiras, ao elevado custo do tratamento e ao alto risco sanitário associado;
- **Reuso potável indireto:** caso em que o esgoto, após tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilização como água potável. Compreende o fluxograma onde o tratamento do esgoto é empregado visando adequar a qualidade do efluente à estação aos padrões de emissão e lançamento nos corpos d'água.

Descrição dos tipos de lavagem de veículos

De acordo com a (USEPA, 1980) a indústria de lavagem de veículos inclui diferentes tipos e operações, cada uma com necessidades e características próprias. Variam quanto ao volume de água utilizado, carga de contaminantes e substâncias químicas nos processos de lavagem. São divididos em três tipos:

- **Túnel:** o veículo segue pelo interior do equipamento em formato de túnel, passando por áreas de lavagem, enxágue enceramento e secagem, respectivamente. Dentro da área de lavagem, o detergente diluído em água é aplicado e a sujeira é mecanicamente removida por escovas e/ou jatos de alta pressão. A seguir, o automóvel é enxaguado com água limpa. Finalmente, a secagem é realizada com jatos de ar.
- **Exterior “Rollover”:** esse sistema está se tornando bastante popular. As duchas são sistemas automatizados, em que você dirige seu automóvel por uma entrada e quando chega à posição correta, um sinal o informa para parar. A partir desse ponto, os equipamentos do lava-rápido se movem sobre seu veículo através de trilhos, executando funções específicas, como aplicar sabão ou enxaguar, mas sem enxugar. Esses sistemas são muito comuns em postos de gasolina, onde se oferecem descontos quando se enche o tanque;
- **Lavagem a jato manual:** lava-se o veículo utilizando uma mangueira com jatos de alta pressão de ar e água; ar, sabão e água são alternados. Em alguns casos a água é coletada numa vala. Este processo é muito comum no Brasil.

Tabela 1. Vazão e capacidade para diferentes tipos de lavagens.

Tipo	Capacidade (veículos/dia)	Volume Médio (L/veículo)	Descarga (m ³ /dia)	Perdas (evaporação, etc.) (L/veículo)
Túnel	100 – 600 média = 250	262	75,7	7 – 30
Rollover	10 – 150 média = 75	112 – 168	11,4	7 – 30
Lavagem a jato manual	40 – 96 média = 64	*	19,9	*

Fonte: USEPA (1980).

* Estes valores são variáveis. Este sistema suporta um número de 5 a 12 carros por hora. Como o sistema não é automático depende da maneira como cada pessoa vai utilizá-lo. Normalmente se gasta cerca de 75 L por ciclo de lavagem. A vazão vai depender de quantos ciclos serão efetuados por carro. Normalmente é apenas um. As perdas variam muito, pois ao ser operada manualmente, a água espirra, pois o operador pode apontar a mangueira para todas as direções. As perdas são superiores aos outros sistemas.

Problema

De acordo com (TEXEIRA, 2003), o sistema de tratamento a ser implantado para viabilizar a reutilização da água de lavagem de carros deve atender às seguintes premissas:

- ✓ Eliminar os riscos à saúde dos usuários e operadores;
- ✓ Evitar danos aos veículos;
- ✓ Minimizar a necessidade de diluição dos efluentes tratados;
- ✓ Minimizar, seu lançamento na rede de esgotos, em águas superficiais ou em fossas.

Segundo TEXEIRA (2003), os principais problemas a serem enfrentados no desenvolvimento de tecnologias para a reciclagem de água de lavagem de veículos são:

- **Área ocupada:** sua concepção deve ser compacta, pois, provavelmente, será instalado num local onde já funciona um equipamento de lavagem, sem previsão de espaço para a inclusão do equipamento;
- **Geração de odores:** deve contemplar a necessidade de controle de odores gerados pela proliferação de microrganismos nas águas armazenadas para a reciclagem;
- **Geração de lodo:** a maioria dos sistemas de tratamento de efluentes gera resíduos e estes deverão ter seu volume minimizado e disposição final adequada;
- **Custo de implantação:** deve ser o menor possível, de forma que possa ser competitivo com o custo da água, recuperando-se o investimento em curto prazo;
- **Operação e manutenção:** a simplicidade, neste aspecto, é um fator limitante na escolha da tecnologia. Sistemas mais complexos tornam-se inviáveis tanto economicamente, como operacionalmente para os proprietários de postos de combustíveis ou lava-rápidos;
- **Concentração de sólidos dissolvidos:** à medida que a água recircula pelo sistema de lavagem, alguns poluentes podem se concentrar, por não serem totalmente removidos no tratamento;
- **Necessidade de diluição:** como há aumento na concentração de certos poluentes, a diluição torna-se necessária para manter a qualidade necessária da água a ser reciclada. Pode ser realizada com água potável ou água da chuva.

Legislação Sobre o Reuso e Tratamento de Efluentes de Lava-rápido no Brasil

A atividade de tratamento e reuso de águas residuais é relativamente nova no Brasil, tendo destaque para as regiões sul e sudeste, onde esses sistemas são mais frequentes, devido principalmente às exigências de órgãos ambientais e a economia com os custos da água potável (MORELLI, 2005), uma vez que as tarifas do abastecimento público geralmente são mais caras do que aquelas praticadas na Bahia e em localidades que não têm esgotamento sanitário e não pagam tarifas de esgoto.

Seguindo as diretrizes da Lei Federal de Recursos Hídricos, alguns municípios já estão implantando tratamento e reuso de água em seus territórios, tornando essa uma prática em expansão no país.

A lavagem de veículos se enquadra em um grupo “urbano restritivo”. A qualidade da água deve ser um pouco mais elevada em comparação a outras classes, sendo que, a SABESP (2017) indica características necessárias da água de reuso conforme Tabela 2, tomadas para efeito de padronização.

Tabela 2. Propriedades requeridas para reuso da água.

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	VMP*
pH		6 - 9
Turbidez	uT	20
Cl Residual Total	mg/L	2 -10
TSD**	mg/L	500
Sulfatos	mg/L	200
Dureza Total	mg/L	100
Fe Total	mg/L	0,15
Cor	mg/L	1
DBO	mg/L	25
DQO	mg/L	75
Óleos e Graxas	mg/L	5
Surfactantes	mg/L	0,5

Coliformes Fecais	NCMF/100mL	200
*VMP =	Valores máximos	permitidos
**TSD =	Teor de sólidos dissolvidos	

Fonte: SABESP (2017).

251

Os valores são de uso exclusivo da SABESP para venda e fornecimento de água de reuso na região metropolitana de São Paulo, não sendo aplicável a outras regiões e estados brasileiros. Devido à grande dificuldade de se encontrar normas padronizadoras de qualidade da água de reuso, foi utilizada a mesma apenas para comparação.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido durante o período de Mar/2016 a Nov/2017, seguindo as seguintes etapas:

Etapa 1: Revisão da literatura para o assunto abordado, propiciando melhor entendimento da situação problema.

Etapa 2: Levantamento de dados do lava-rápido.

Etapa 3: Experimento prático:

- ✓ Coleta de amostras de água;
- ✓ Análise para caracterização dos efluentes;
- ✓ Realização de ensaios de JAR TEST;
- ✓ Análise de eficiência das etapas de coagulação e filtração a fim de obter a dosagem ideal para tratamento do mesmo;
- ✓ Filtração e desinfecção das amostras;
- ✓ Análise da água tratada para comparação com normas padronizadoras.

Levantamento de Dados do Lava-rápido

O lava-rápido estudado foi o do “Auto Posto Parque Cidade Nova”, localizado na Avenida Bandeirantes, Parque Cidade Nova, Mogi Guaçu – SP, O lava-rápido foi escolhido por concentrar alto fluxo de veículos lavados, grande conhecimento e uso da população, possibilidade de investimento e interesse do proprietário em implantar um sistema de reuso. O mesmo está há 30 anos na cidade e o lava-

rápido há 7 anos. No local é empregado o sistema de lavagem “Rollover” conforme apresentado anteriormente.

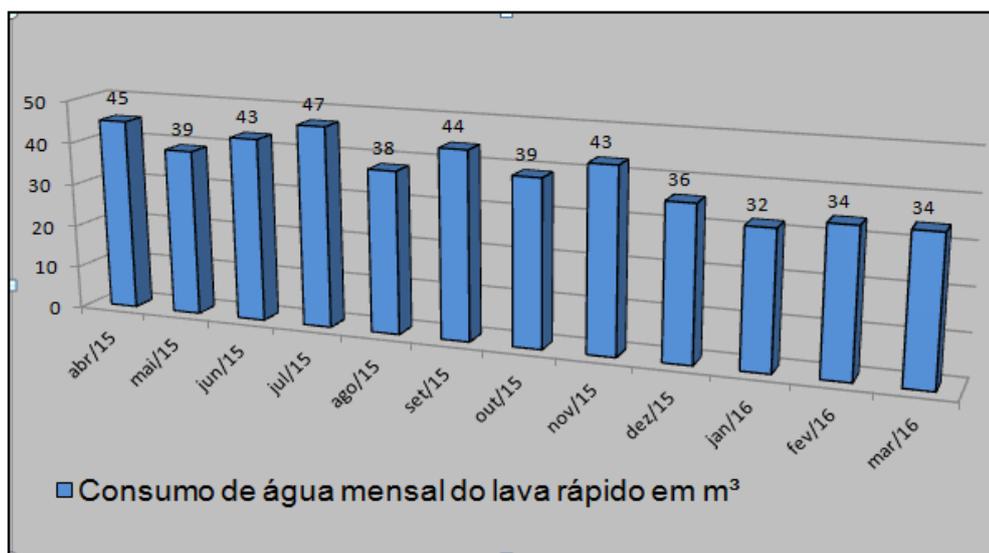
De acordo com informações fornecidas pelo posto, na semana, de quarta-feira a sexta-feira, atende-se em média 10 veículos/dia e aos sábados o fluxo aumenta para 30 veículos. Observou-se que o lava-rápido não possui sistema de reuso e toda a água é devolvida sem tratamento as vias públicas, igualmente a outros lava-rápidos do município.

Figura 1. Lava-rápido Auto Posto Parque Cidade Nova.



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Figura 2. Consumo de água do lava-rápido



Fonte: SAMAE Mogi Guaçu (2016).

De acordo com os dados repassados pelo órgão responsável por abastecimento de água da cidade (figura 2), a SAMAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto), o consumo de água do lava-rápido entre abril/2015 até março/2016 (amostragem 12 meses), resultou em média 39,5 m³/mês, podendo aproximadamente chegar a 474 m³/ano.

Para fins quantitativos podemos efetuar os seguintes cálculos:

- 1 mês de trabalho = 16 dias (quarta-feira a sábado);
- (30 veículos de quarta a sexta e 30 veículos no sábado) = média 240 veículos/mês.

$$\frac{39,5 \text{ m}^3}{240 \text{ veículos}} = 164 \text{ L/veículo}$$

Os cálculos apresentados sobre o consumo de água do lava-rápido são compatíveis em média com a comparação feita na Tabela 1 para lavagem “Rollover”.

Caracterização dos Efluentes

Foram coletadas e analisadas 4 amostras, também realizadas médias aritméticas nos resultados para visão geral. Os resultados foram obtidos através de leituras feitas no Espectrofotômetro HACH modelo DR/2010. O restante das análises, como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio DQO, coliformes fecais, óleos e graxas, cor, dureza e surfactantes, por motivo de não disponibilidade de equipamento e reagentes químicos na faculdade, foram realizadas por uma empresa de consultoria ambiental, a ACQUALAB LABORATÓRIO E CONSULTORIA AMBIENTAL S/S LTDA localizada na cidade de Jundiaí – SP, sendo que, a mesma possui acreditação do INMETRO e serviços que atendem normas como a ISO/IEC 17025:2005.

Figura 3. Amostras de água de lavagem.

Fonte: elaborado pelos autores (2017)

254

Tabela 3. Análise da água pós lavagem.

ANÁLISE DO EFLUENTE LAVA-RÁPIDO						
CARACTERÍSTICA	UNIDADE	RESULTADOS				
		AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	MÉDIA
pH		6,23	6,55	6,34	6,39	6,38
Turbidez	uT	259	256	263	255	258
Cl Total	mg/L	0,21	0,28	0,44	0,38	0,33
TSD*	mg/L	376	388	357	302	356
Sulfatos	mg/L	23	16	19	18	19
Dureza Total	mg/L	31	52	36	45	41
Fe Total	mg/L	1,48	2,04	1,92	1,39	1,71
Cor	mg/L	120	155	123	151	137
DBO	mg/L	19	14	16	17	17
DQO	mg/L	77	59	57	62	64
Óleos e Graxas	mg/L	120	113	116	111	115
Surfactantes	mg/L	3,50	5,12	4,63	4,84	4,52
Coliformes Fecais	NCMF/100 mL	20623	20123	19785	18667	19800

*TSD = Teor de sólidos dissolvidos

Fonte: elaborado pelos autores (2017).

Ensaio JAR TEST

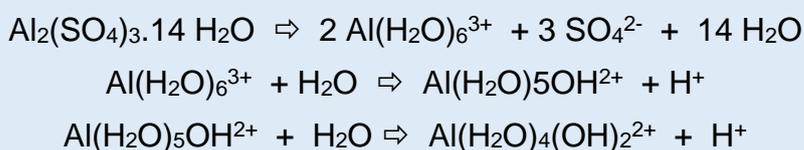
Os ensaios de JAR TEST foram realizados segundo metodologias para tratamento de água de abastecimento proposta por DI BERNARDO, PÁDUA e LIBÂNIO (1999).

Como a água de lavagem não obtinha turbidez muito elevada foi adicionado 100g de terra vermelha para 2 L de água de lavagem, com o objetivo de obter a condição mais crítica possível de sujidade. Justificando assim a elevada turbidez descrita na Tabela 3.

255

Coagulante

De acordo com RICHTER (2009) o sulfato de alumínio é comumente utilizado, sendo conhecido por apresentar resultados com baixa incidência de sólidos em suspensão ou dissolvidos, sua hidrólise leva a formação de complexos polinucleares, entre eles ($Al_6(OH)_{13}^{3+}$; $Al_7(OH)_{17}^{4+}$; $Al_{13}(OH)_{34}^{5+}$), que promovem a desestabilização de cargas e, conseqüentemente, a coagulação conforme as reações abaixo:



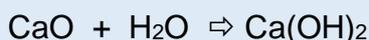
A ação do íon H^+ na solução provoca redução drástica no pH se as concentrações e dosagens de sulfato de alumínio forem altas, fazendo-se assim necessário o uso de agentes alcalinizantes.

Para o presente trabalho o coagulante empregado foi o sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3$ devido ao seu baixo custo (aproximadamente R\$8,90/Kg) e facilidade de aquisição no mercado.

Alcalinizante

O Hidróxido de Cálcio é usualmente usado como agente controlador de pH, porém os íons cálcio atuam como agentes de neutralização das cargas elétricas superficiais, funcionando como coagulante inorgânico. Dessa forma uma das vantagens da aplicação da cal hidratada, junto a polieletrólitos, é a formação de flocos maiores por causa da sua bivalência positiva, produzindo uma maior clarificação do efluente, devido a uma maior superfície de contato e uma maior velocidade de decantação (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

No presente estudo se fez necessário a dosagem de alcalinizante para correção do pH. A escolha do Óxido de Cálcio (CaO) como alcalinizante também se dá a os mesmos motivos pelo qual foi escolhido o coagulante, preço baixo (R\$9,50/Kg) e fácil aquisição. Hidratando o Óxido de Cálcio se obtém Hidróxido de Cálcio (Ca(OH)₂) conforme reação abaixo:



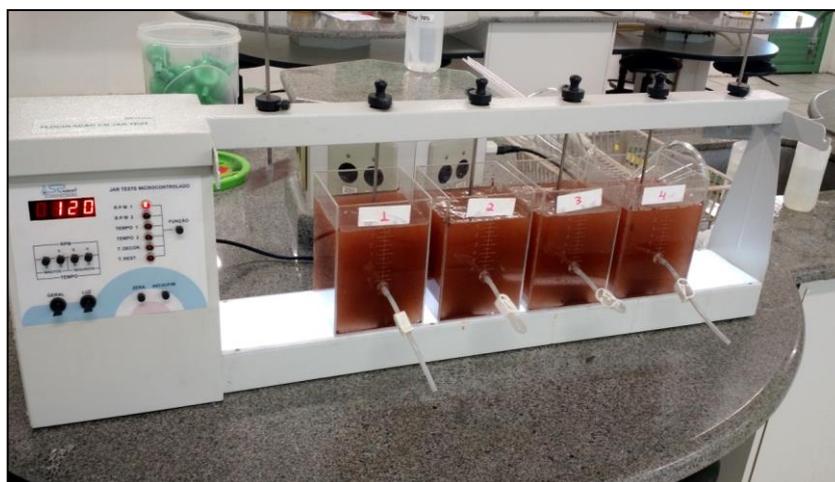
Após definido os tipos de coagulante e alcalinizante, se deu segmento a os ensaios de JAR TEST. Para este ensaio foram coletados 10 L de água e mantidos as seguintes variáveis para o ensaio:

- ✓ Concentração de coagulante = 5 g/L
- ✓ Dosagem de coagulante = 20 mL
- ✓ RPM = 120 (rotação máxima do aparelho)
- ✓ Tempo de mistura = 1min

A concentração de sulfato de alumínio foi definida de acordo com Rezende Costa (2013) em sua dissertação de mestrado “Investigação de diagramas de coagulação utilizando coagulantes e auxiliares de coagulação de Fontes renováveis”, onde é comprovado que o mesmo em concentrações maiores que 1750 ppm removem mais de 95% de turbidez em faixas de pH entre 4 e 10.

Considerando o estudo, variou-se a dosagem de alcalinizante para o ajuste de pH. O motivo de variar somente a dosagem (volume) de alcalinizante e manter constantes as outras variáveis é constatar que o valor do pH interfere diretamente na velocidade de sedimentação e eficiência da coagulação usando sulfato de alumínio. Por consequência a velocidade de tratamento por hora de um sistema é alterada, quanto mais lenta for à sedimentação dos flocos, maior demandará tempo o tratamento.

Figura 4: Ensaio de JAR TEST.



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Seguindo o tratamento, as amostras foram submetidas à etapa de filtração, procurando reproduzir sequencialmente as etapas de uma ETA.

Filragem

Segundo HUISMAN (1974), filtração é uma ação de purificação onde há remoção parcial ou total do material suspenso e do material coloidal, redução da concentração de bactérias e mudanças nas suas propriedades químicas da água filtrada.

A filtração descendente é a técnica onde a água por gravidade escoar através do meio filtrante em sentido longitudinal. O filtro rápido é formado de uma camada simples de areia ou pode possuir camada dupla (suporte) com a adição de mais um meio poroso, mais grosso e menos denso. A adição de camada suporte permite taxas de filtração ainda maiores em relação a camada simples. (DI BERNARDO, 1993)

Esta etapa consistiu na reprodução de um filtro rápido de dupla camada e fluxo descendente para escala de laboratório.

Di Bernardo (1993) recomenda materiais granulares com características conforme a Tabela 4 para construção de um filtro rápido:

Tabela 4. Materiais filtro rápido.

CARACTERISTICA	AREIA	CARVÃO (ANTRACITO)
ESPESSURA DE CAMADA (mm)	0,20 – 0,30	0,45 – 0,60
TAMANHO DO GRÃO (mm)	0,42 – 1,41	0,59 – 2,00
TAMANHO EFETIVO (mm)	0,40 – 0,60	0,90 – 1,10

Fonte: Di Bernardo (1993).

Orientando-se conforme as especificações da Tabela 4, o filtro foi construído de acordo com as especificações na Tabela 5:

Tabela 5. Propriedades filtro rápido construído.

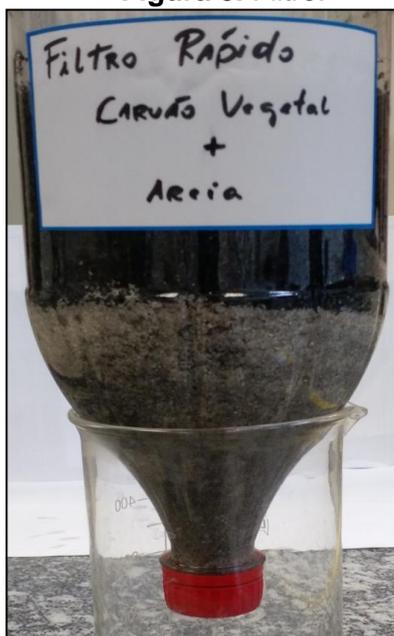
CARACTERISTICA	AREIA	CARVÃO (ANTRACITO)
ESPESSURA DE CAMADA (mm)	*	*
TAMANHO DO GRÃO (mm)	0,40 – 1,00	0,8 – 1,50
TAMANHO EFETIVO (mm)	0,55	1,00

Fonte: elaborado pelos autores (2017). **Onde:** *espessura de camada proposta por DI BERNARDO (1993), se designa a filtros de dimensões em escala industrial para

tratamentos automatizados, para objetivos de testes manuais foi aplicada a espessura de 10 cm.

As amostras decantadas pós-ensaio de JAR TEST foram levadas ao filtro afim de filtrar somente a parte clarificada.

Figura 5. Filtro.



Fonte: elaborado pelos autores (2017).

Após serem filtradas todas as amostras seguiram para a dosagem de hipoclorito de sódio.

Desinfecção

A desinfecção tem por finalidade a destruição de microrganismos nocivos à saúde, tais como bactérias, vírus, protozoários, vermes, fungos, algas, entre outros. Apesar de muitos microrganismos não serem nocivos à saúde, alguns podem causar infecções e doenças (faringite, conjuntivite, pé de atleta, micoses, meningite etc.). Os microrganismos existem, naturalmente, nas superfícies expostas ao ar, inclusive na água. O uso do hipoclorito de sódio (NaClO) evita a transmissão de doenças. (UNIPAR, 2015)

Através dos cálculos recomendados pela FUNASA (2014), foram adicionados a água 0,52 mL de hipoclorito de sódio para desinfecção, visando obter cloro residual livre dentro da faixa especificado pela SABESP.

As amostras desinfetadas procederam à análise química final.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resultados JAR TEST

O ensaio apresentou visualmente ótimos resultados na remoção de cor e turbidez (figura 6). Notou-se que com o incremento de terra e conseqüentemente de sólidos suspensos, a velocidade de sedimentação na coagulação é aumentada conforme aumento da dosagem de cal, isto ocorre devido ao aumento do tamanho dos flocos que por sua vez ganham mais densidade e decantam melhor.

259

Figura 6. Pós-ensaio JAR TEST.



Fonte: elaborado pelos autores (2017).

Tabela 5. Dados JAR Test.

CARACTERISTICA	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4
pH	6,69	6,69	6,69	6,69
TEMPERATURA (°C)	19	19	19	19
RPM	120	120	120	120
TEMPO DE MISTURA (min)	1	1	1	1
SULFATO 5000 PPM (mL)	20	20	20	20
CAL 5000 PPM (mL)	1	5	10	15
TEMPO DE DECANTAÇÃO (min)	9	7	4	2

Fonte: elaborado pelos autores (2017).

Interpretando os dados da Tabela 5, os melhores resultados foram obtidos nos jarros 3 e 4. Em comparação com o jarro 4, o jarro 3 resultou em menor dosagem de alcalinizante, mas teve maior tempo de decantação.

Resultados da Água Tratada

Figura 7. Água bruta e água tratada.



Fonte: elaborado pelos autores (2017).

Tabela 6. Resultados água após tratamento.

Característica	Unidade	Vmp**	Norma	Resultados				
				Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Média
pH		6 - 9	SABESP	4,02	5,97	7,38	8,68	6,51
Turbidez	uT	20	SABESP	28	22	11	7	17
Cl Total	mg/L	2 -10	SABESP	6,10	6,12	6,18	6,25	6,04
TSD*	mg/L	500	SABESP	341	340	318	283	321
Sulfatos	mg/L	200	SABESP	33	45	59	74	53
Dureza Total	mg/L	100	SABESP	40	67	69	80	64
Fe Total	mg/L	0,15	SABESP	0,15	0,11	0,13	0,11	0,14
Cor	mg/L	1	SABESP	5,89	1,15	0,66	0,23	2,18
DBO	mg/L	25	SABESP	13	11	11	7	11
DQO	mg/L	75	SABESP	33	30	26	22	29

Óleos e Graxas	mg/L	5	SABESP	5,9	5,3	3,1	2,9	4,3
Surfactantes	mg/L	0,5	SABESP	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30
Coliformes Fecais	NCMF/10 0mL	200	SABESP	8,23	6,85	5,77	5,28	6,53
*TSD = teor de sólidos dissolvidos **VMP = valores máximos permitidos								

Fonte: elaborado pelos autores (2017).

Interpretando a Tabela 6 foi observado que as amostras 3 e 4 mostraram melhores resultados tanto qualitativos quanto quantitativos, sendo que os mesmos se encontram em conformidade com os padrões estabelecidos pelos SABESP para água de reuso citados na Tabela 2.

A melhor opção para o método de tratamento foi o da amostra 4 (Tabela 6), apresentou maior rapidez na sedimentação de sólidos, propiciará a um tratamento com maior agilidade, além de melhor remoção dos efluentes mais significativos conforme eficiência na Tabela 7.

Tabela 7. Eficiência do tratamento.

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	AMOSTRA 4 (EFLUENTE BRUTO)	AMOSTRA 4 (EFLUENTE TRATADO)	REMOÇÃO (%)
Turbidez	uT	255	7	97
TSD*	mg/L	302	283	6
Fe Total	mg/L	1,39	0,11	92
Cor	mg/L	151	0,32	99
DBO	mg/L	17	7	59
DQO	mg/L	62	25	60
Óleo e Graxas	mg/L	111	2,9	97
Surfactantes	mg/L	4,84	< 0,30	>94
Coliformes Fecais	NCMF/100 mL	18667	5,28	99
*TSD = teor de sólidos dissolvidos				

Fonte: elaborado pelos autores (2017).

Balanço de Massa

Para o controle do ciclo de concentração de água de reuso, é necessário efetuar um balanço de massa com algumas variáveis do sistema. É preciso balancear as variáveis que não apresentaram um bom grau de remoção no tratamento convencional, que é geralmente utilizado. A característica Teor de Sólidos Dissolvidos (TSD) não é eliminada nos tratamentos e se acumulam nos ciclos de recirculação.

Esta característica não apresentou remoção considerável. Conforme ZANETI et al, (2011) “Uma boa eficiência no tratamento da água é necessária para que os sais presentes não aumentem demais sua concentração, pois podem prejudicar os veículos provocando manchas na ocasião de secagem e ajudarem no processo de corrosão de metais e borrachas”.

A concentração de sais na água sofre um incremento a cada lavagem, devido os produtos químicos utilizados, coagulantes, xampus e sais solúveis presentes nos próprios veículos, devido a isso é necessário limitar a concentração nos ciclos de reuso.

Tabela 8. Variáveis para balanço de massa.

TSD Efluente Bruto (mg/L)	TSD Efluente Tratado (mg/L)	TSD Água SAMAE (mg/L)
356	321	91,5

Fonte: elaborado pelos autores (2017).

Siglas para balanço:

$Q_{\text{água}}$ = vazão de água em L

$C_{\text{água}}$ = concentração de sais na água em mg/L

Q_{efluente} = vazão do efluente em L

C_{efluente} = concentração de sais no efluente em mg/L

$Carga_{\text{sais}}$ = carga de sais no sistema ou veículo em mg/veículo

Q_{lavagem} = vazão de água de lavagem dos veículos em L

C_{lavagem} = concentração de sais na água de lavagem dos veículos em mg/L

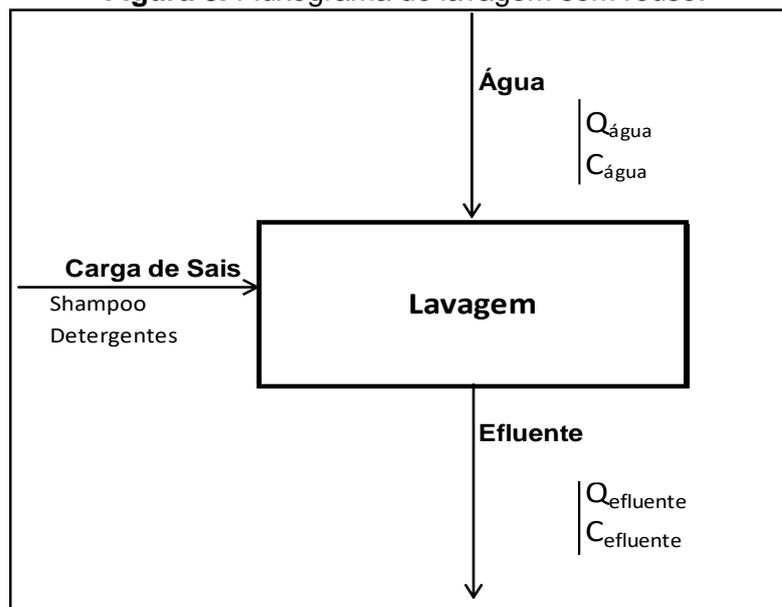
Q_{reuso} = vazão de água de reuso em L

C_{reuso} = concentração de sais na água de reuso em mg/L

F = fração de reuso

Sistema sem Reuso

Figura 8. Fluxograma de lavagem sem reuso.



Fonte: elaborado pelos autores (2017).

$$Carga_{sais} + (Q_{\text{água}} \times C_{\text{água}}) = Q_{\text{efluente}} \times C_{\text{efluente}} \quad (\text{Equação 1})$$

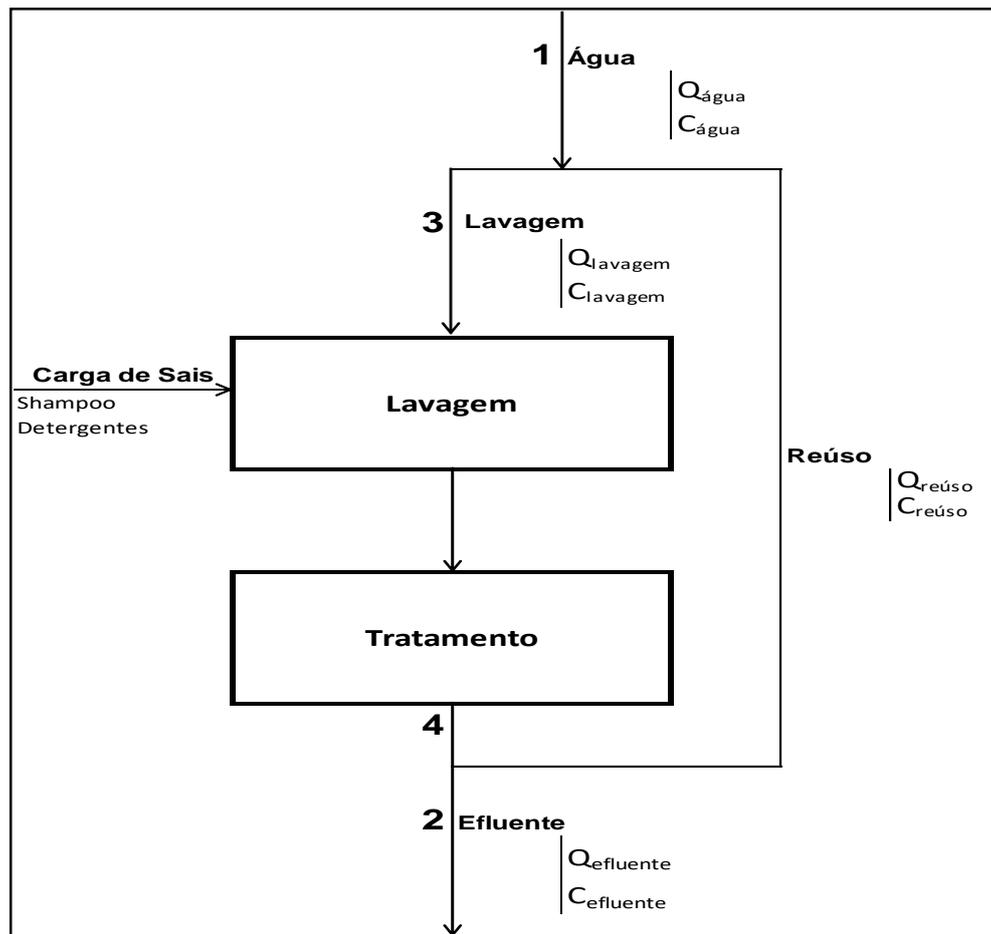
Considerando o consumo de água para lavagem do lava-rápido estudado de 164L/veículo e a concentração de TSD na água fornecida pela SAMAE de 91,5 mg/L (SAMAE Mogi Guaçu) tem-se:

$$Carga_{sais} = 164 \times (321 - 91,5) \quad (\text{Equação 2})$$

$$Carga_{sais} = 37.638 \text{ mg/veiculo}$$

Sistema com Reuso

Figura 9. Fluxograma de lavagem com reuso.



Fonte: elaborado pelos autores (2017).

Pontos 1 e 2 (externo):

$$\begin{aligned}
 & \text{Carga}_{\text{sais}} + (Q_{\text{água}} \times C_{\text{água}}) = Q_{\text{efluente}} \times C_{\text{efluente}} \quad (\text{Equação 3}) \\
 C_{\text{reuso}} &= \frac{\text{Carga}_{\text{sais}} + (Q_{\text{água}} \times C_{\text{água}})}{Q_{\text{efluente}}}
 \end{aligned}$$

Admitindo-se:

$$C_{\text{efluente}} = C_{\text{reúso}}$$

$$Q_{\text{reúso}} = F \times Q_{\text{lavagem}}$$

$$Q_{\text{água}} = Q_{\text{lavagem}} (1 - F)$$

$$Q_{\text{efluente}} = Q_{\text{lavagem}} - Q_{\text{reúso}} = Q_{\text{lavagem}} - (F \times Q_{\text{lavagem}}) = Q_{\text{lavagem}}(1 - F)$$

$$C_{\text{reúso}} = \frac{\text{Carga}_{\text{sais}} + [Q_{\text{lavagem}}(1-F) \times C_{\text{água}}]}{Q_{\text{lavagem}}(1-F)} \quad (\text{Equação 4})$$

265

Como já citado previamente o volume utilizado pelo lava-rápido para lavar um veículo ($Q_{\text{lavagem}} = 164\text{L}$), a concentração de TSD da distribuidora de água SAMAE ($C_{\text{água}} = 98 \text{ mg/L}$) e a carga de sais gerada na lavagem sem reuso ($\text{Carga}_{\text{sais}} = 37.638 \text{ mg/veículo}$), serão aplicados na equação 4 para se obter a concentração de TSD na água de reuso ($C_{\text{reúso}}$) para diversas frações de utilização (F) conforme mostrado na Tabela 10.

Ponto 3 (entrada):

Nesta junção tem-se a vazão da água fornecida pela distribuidora ($Q_{\text{água}}$) e a vazão da água de reuso ($Q_{\text{reúso}}$), cada uma com sua concentração de TSD. Somando as vazões se obtém a vazão disponível para lavagem, conforme equação 5.

$$Q_{\text{água}} + Q_{\text{reúso}} = Q_{\text{lavagem}} \quad (\text{Equação 5})$$

$$(Q_{\text{água}} \times C_{\text{água}}) + (Q_{\text{reúso}} \times C_{\text{reúso}}) = (Q_{\text{lavagem}} \times C_{\text{lavagem}})$$

$$[Q_{\text{lavagem}}(1 - F) \times C_{\text{água}}] + (F \times Q_{\text{lavagem}} \times C_{\text{reúso}}) = Q_{\text{lavagem}} \times C_{\text{lavagem}}$$

$$C_{\text{lavagem}} = [(1 - F) \times C_{\text{água}}] + (F \times C_{\text{reúso}}) \quad (\text{Equação 6})$$

Considerando um sistema sem perdas de água e aplicando as frações de reuso na equação 4 variando o fluxo de lavagem, calcula-se a concentração de TSD na água que retorna ao sistema ($C_{\text{reúso}}$), através desta concentração calcula-

se a concentração de TSD na água de lavagem (C_{lavagem}) conforme equação 6. As concentrações de lavagem determinaram a fração de água ideal a ser reutilizada, desta maneira, não causando manchas e problemas aos veículos.

Tabela 9. Concentrações de TSD e vazões na lavagem unitária variando as frações de reuso.

F (%)	$C_{\text{reúso}}$ (mg/L)	C_{lavagem} (mg/L)	Q_{lavagem} (L)	$Q_{\text{reúso}}$ (L)	Q_{efluente} (L)*
0	321	98	164	0	164
10	347	117	148	16	148
20	378	149	131	33	131
30	419	190	115	49	115
40	474	245	98	66	98
50	551	321	82	82	82
60	665	436	66	98	66
70	857	627	49	115	49
80	1.239	1010	33	131	33
90	2.387	2157	16	148	16
99	1.881.990 (1,88 Kg/L)	1.863.170 (1,86 Kg/L)	2	162	2

Fonte: elaborado pelos autores (2017).

*Vazão descartada para o sistema de captação de esgoto público.

Utilizando os limites de TSD especificados pela SABESP (Max. 500 mg/L), observa-se na Tabela 9 que o sistema pode trabalhar no máximo com 63% de água de reuso na lavagem para evitar manchas e corrosão dos veículos lavados. Trabalhando com uma adição constante de 37% de água nova para a fração máxima, este sistema pode trabalhar em regime permanente por tempo indeterminado.

Com base nas tarifas cobradas pela SAMAE Mogi Guaçu em 2017, com um sistema de reuso trabalhando nos percentuais de reuso descritos anteriormente, é possível ter uma economia de 25 m³ de água/mês, em valores, R\$325,30/mês (77,41%) na conta de água atual.

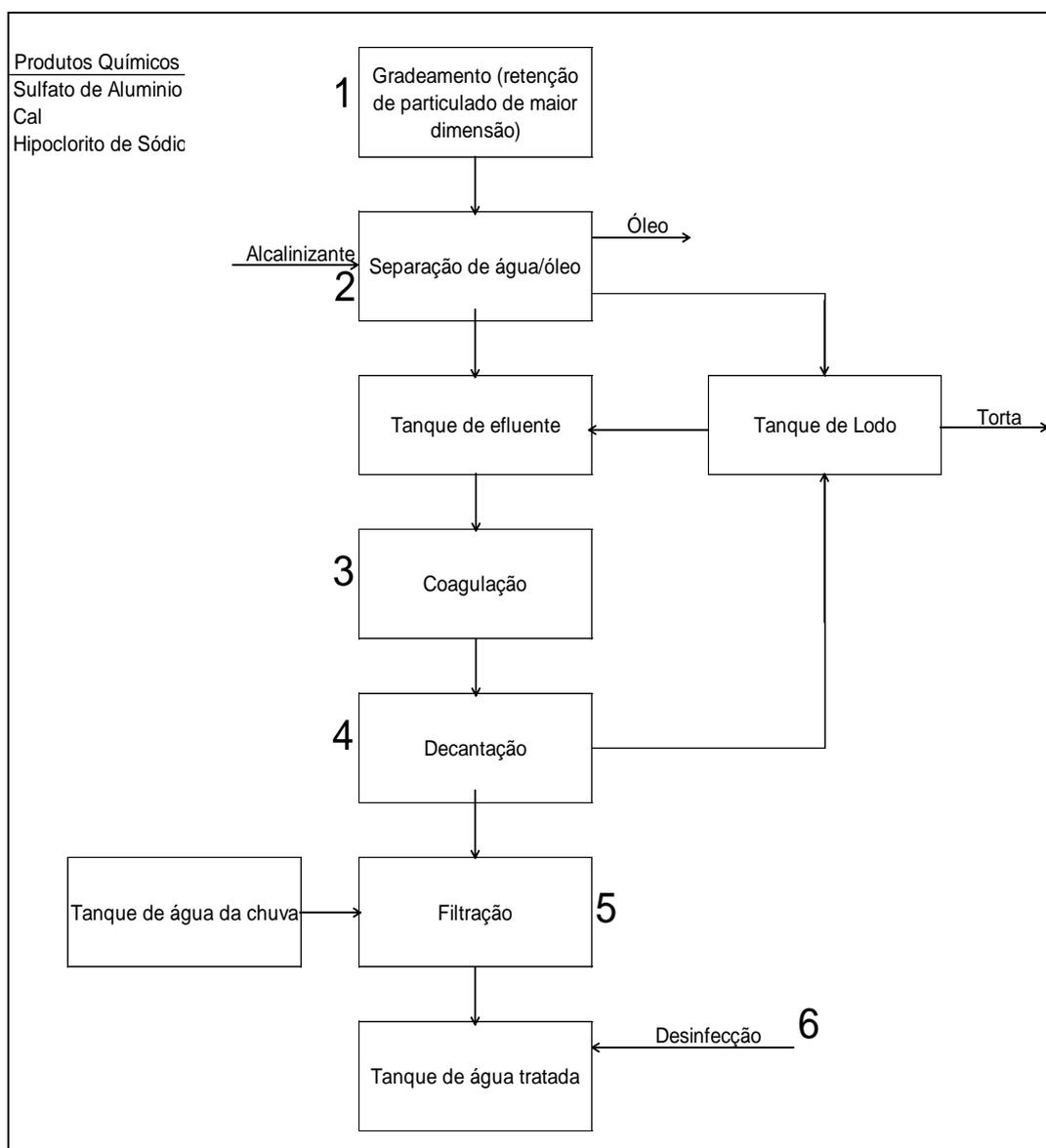
SISTEMA SUGERIDO

Baseando-se nos estudos realizados para o desenvolvimento do trabalho e com o objetivo de contribuir para a utilização de práticas de reuso da água, sugere-se um sistema simples de recirculação de água para lavagem de veículos:

- ✓ **Gradeamento:** responsável por reter partículas de maior dimensão, pode ser construído com malhas ou mantas, de modo que o diâmetro de abertura seja menor que o diâmetro dos grãos inertes.
- ✓ **Separador água e óleo:** tem importância na separação por diferença de densidade, o óleo em suspensão na água que é proveniente dos veículos e arraste do que fica no chão. Deve ser construído com um tubo dreno na parte superior e um tubo na parte inferior, de modo que o óleo menos denso será retirado por cima e a água por baixo.
- ✓ **Coagulação:** esta etapa consiste em um tanque com misturador e dosador para unir as partículas em suspensão para que as mesmas possam ser decantadas na próxima etapa. De acordo com o trabalho desenvolvido pela EMBASA em Irecê-BA, a coagulação pode ser feita em linha por meio de hidrojato tipo Venturi, usando a pressão na tubulação gerada pela bomba, quando a água passa pelo Venturi é criada uma sucção que arrasta e dosa o coagulante, a turbulência gerada pela diminuição de seção no Venturi é necessária para mistura do coagulante na água.
- ✓ **Decantação:** o decantador deve ser construído com dimensões de modo a suportar a vazão de entrada para não transbordar. Para quebrar a força da água de entrada pode se colocar vertedouro tipo concha na entrada para que a água escoe com menos turbulência não provocando agitações que podem elevar o lodo decantado.
- ✓ **Filtração:** o filtro deve ser dimensionado para se ter um equilíbrio das vazões de entrada e saída do mesmo, visto que filtros lentos podem não se adequar a esses sistemas por motivo da vazão de filtragem lenta, para esses tipos de sistemas filtros rápidos são mais indicados, os elementos filtrantes podem ser utilizados conforme Tabela 5 deste presente trabalho conforme DI BERNARDO (1993).
- ✓ **Desinfecção:** a desinfecção é comumente feita por hipoclorito de sódio com ajuda de dosadores, mas para efeito de testes pode ser utilizado no tanque de água tratada pastilhas de cloro igualmente em piscinas, visto que a mesmas possuem descrição de concentração nas embalagens, basta fazer calculo químico simples e adicionar o peso necessário para se

adquirir a concentração desejada na água. Nesta etapa a adição de 37% de água conforme o balanço de massa desenvolvido pode ser feita pela água da chuva sendo estocado em caixas de água com gradeamento na entrada para eliminar sólidos e impurezas. Usando a água da chuva o consumo de água seria zero para alguns ciclos de reuso, o que diminuiria ainda mais o valor na conta.

Figura 10. Fluxograma sistema de tratamento sugerido.



Fonte: elaborado pelos autores (2017).

Implantando um sistema como o demonstrado na figura 10 utilizando materiais de baixo custo como PVC (caixas d'água, bombonas, tubulações, conexões, etc.) para as unidades separação de água/óleo, tanque de efluente, decantador, caixa de lodo, filtro, tanque de água tratada e tanque de água da chuva; é necessário um investimento na faixa de R\$ 2.000,00 a R\$ 10.000,00 reais dependendo da capacidade do sistema, valores que, comparados com outros sistemas de tratamento são viáveis do ponto de vista econômico. Utilizando a fração de reuso de 67% determinada no balanço de massa que propicia economia de água de 25 m³/mês, o proprietário poderá ter um retorno de investimento em menos de 40 meses.

CONCLUSÃO

O tratamento realizado nas amostras de água de lavagem de veículos demonstrou que utilizando tratamento simples na água do lava-rápido, é possível obter parâmetros de qualidade dentro das especificações propostas pela SABESP (Tabela 2) para água de reuso. Os resultados reforçam a possível implantação de um sistema de reuso no lava-rápido estudado, no qual pode ser usada a metodologia descrita neste trabalho seguindo as etapas de tratamento, onde foram demonstradas rapidez e eficácia nas etapas de sedimentação e remoção dos efluentes respectivamente. O balanço de massa demonstrou viabilidade técnico-econômica no que se refere ao consumo de água. Além disso, o proprietário estará em conformidade com órgãos fiscalizadores em épocas de crise hídrica, reduzindo a demanda no serviço de fornecimento público de água e descartando na captação de esgoto publica uma água já pré-tratada.

REFERÊNCIAS

DAE (Departamento de Água e Esgoto de São Caetano do Sul). **Distribuição da água no planeta terra** (2014). Disponível em: <<http://www.daescs.sp.gov.br/aprenda-com-a-dae/>>. Acesso em: 16 de Setembro de 2017.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardi. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2ed. São Paulo: Rima, 2005.

DI BERNARDO, L. (1993). **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Volumes I e II. Associação Brasileira de engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. 481 p. Rio de Janeiro.

DI BERNARDO, L., DE PÁDUA, V. L. e LIBÂNIO, M. **Otimizacion de Gradientes de Velocidad en la Floculacion**. Seminário sobre Optimizacion de Plantas de Potabilizacion. XXVI Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitária y Ambiental. Lima – Peru, 1999.

EMBASA (Empresa Baiana de Água e Saneamento) . **Projeto de reuso de água para donos de lava a jatos**. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/voce-pode-reproduzir-nossas-publicacoes-citando-Fonte-com-o-link-para-o-conteudo-original-sendo-proibido-alteracao-no-texto-evite-problemas-com-direitos-autorais-nao-remova-este-link-Fonte-folh/>>. Acesso em: 16 de Setembro de 2017.

FUNASA (Fundação Nacional de Saúde). **Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades**. 2014. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualdecloracaodeaguaempequenascomunidades.pdf>. Acesso em: 25 de Outubro de 2017.

HUISMAN, L. and WOOD, W. E. (1974). **Slow Sand Filtration**. World Health Organization, Geneva, Switzerland.pp. 1-89.

LEITÃO, S. A. M. **Bases para estruturação das atividades de reuso de água no Brasil**: estágio atual. Artigo apresentado no II Encontro das Águas, Montevideú, 1999.

MORELLI, E. B. **Reúso de água na lavagem de veículos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia)– Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-29072005-140604/>> Acesso em: 07 de Setembro de 2017.

REZENDE COSTA, Talita Ferreira de. **Investigação de diagramas de coagulação utilizando coagulantes e auxiliares de coagulação de Fontes renováveis**. Universidade Federal de Uberlândia. P.68. 2013.

RICHTER, C.A. **Água-métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo-SP: Blucher, p.340. 2009.

SABESP. **Água de reuso – modelos de comercialização**. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/uploads/file/ap_sabesp_div_grand_cons_lete.pdf>. Acesso em: 19 de Agosto de 2017.

SABESP. **Dicas de economia**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=247>>. Acesso em: 02 de Setembro de 2017. SAMAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto).

Tarifas. Disponível em: <http://www.samaemogiguacu.com.br/website/arquivos/resolucao_ares_pcj_n159.pdf>. Acesso: 16 de Setembro de 2017.

SABESP. (Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), **Relatório Estabelecimento de Diretrizes Técnicas, Econômicas e Institucionais e de Programa de Ação para Implementação de Sistema de Água de Reuso na RMSP**, São Paulo, 2002.

TEIXEIRA, Priscila C., **Emprego de filtração por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água.** Dissertação apresentada a Faculdade Civil da Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP. 2003. 199p.

UNIPAR, Carbocloro. **Como usar hipoclorito de sódio (HIPO) no tratamento de piscinas.** 2015. Disponível em: <http://www.uniparcarbocloro.com.br/uniparcarbocloro/web/download_arquivos.asp?id_arquivo=2AFD14BA-D152-4763-883F-18F2388F0988>. Acesso em: 13 de Agosto de 2017.

UNITED STATES - EPA (Environmental Protection Agency). **Guidelines for water reuse.** Washington, D.C.: Camp Dresser & McKee, 2004.

USEPA, 1980. **Treatability Manual**, Vol.1, Treatability data. ORD, USEPA, EPA-600/8-80-042a, Wash. D.C. 15 Sections.

ZANETI, R.; ETCHEPARE, R.; RUBIO, J. **Car wash wastewater reclamation. Full-scale application and upcoming features.** Resources, Conservation and Recycling, v. 55, p. 953–959, 2011.

Os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesse referente a este artigo.