



## TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LAVAGEM DE VEÍCULOS POR ELETROCOAGULAÇÃO E ELETROFLOTAÇÃO

---

Aline Hanny Peralta<sup>1</sup>; Lívia Nunes Bueno<sup>2</sup>; Ricardo Nagamine Costanzi<sup>3</sup>; Alexei Lorenzetti Novaes Pinheiro<sup>3</sup>.

1. Graduanda em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina, Brasil (e-mail: aline.hanny@gmail.com).
2. Graduanda em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina, Brasil.
3. Professor Doutor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina, Brasil.

Recebido em: 12/04/2014 – Aprovado em: 27/05/2014 – Publicado em: 01/07/2014

---

### RESUMO

A utilização dos recursos hídricos sem planejamento, associado ao aumento da demanda de água em sistemas urbanos, tem provocado problemas graves de escassez de água. Desta forma, existe uma necessidade urgente de minimizar o consumo de água em operações e processos urbanos. Um dos grandes consumidores urbano de água é o processo de lavagem de veículos, que também gera grandes volumes de efluentes potencialmente poluidores, os quais são incorporados diretamente à rede de esgoto e/ou pluvial. O presente estudo teve como objetivo avaliar o tratamento de efluentes de lavagem de veículos pelo método de eletrofloculação, que possui como vantagem a elevada eficiência na remoção de poluentes sem a necessidade de inserção de substâncias químicas, diminuindo a possibilidade de poluição secundária (Ex. sulfatos e polímeros). Foi avaliada a eficiência de remoção das variáveis: Demanda Química de Oxigênio (DQO) e turbidez, com valores médios de remoção de 51,6% e de 98,18%, respectivamente. Foram utilizadas correntes elétricas de 90 a 240 mA nos ensaios realizados.

**PALAVRAS- CHAVE:** Eletroquímica. Reuso de água. Recursos hídricos.

### TREATMENT OF CAR WASHING WASTEWATER BY ELECTROCOAGULATION AND ELECTROCOAGULATION

#### ABSTRACT

The use of water resources without planning along with increased demand for water in urban systems has caused serious water shortages. Therefore, there is an urgent need to minimize water consumption in urban operations and processes. One of the major consumers of urban water is the process of washing vehicles, which also generates large volumes of potentially polluting effluents, that are incorporated directly into the sewer or pluvial systems. The present study aimed to evaluate the treatment of wastewater from washing vehicles through electroflocculation method. This method has the advantage of high efficiency in removing pollutants without requiring insertion of chemicals, reducing the possibility of secondary pollution (eg sulphates and polymers). The removal efficiency of the variables was evaluated: Chemical Oxygen Demand (COD) and turbidity removal with average values of 51.6% and 98.18%, respectively. Electric currents were used in the interval of 90-240 mA in the tests.

**KEYWORDS:** Electrochemistry. Water reuse. Water resources.

## INTRODUÇÃO

A água tem se tornado nos últimos anos um fator limitante nas regiões áridas e semiáridas para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Regiões com recursos hídricos abundantes, mas com demandas elevadas, também experimentam conflitos de uso da água e sofrem restrições de consumo. O aumento da preocupação com o uso dos recursos hídricos resultou na valorização da água potável como bem de consumo e frente a este potencial de escassez, órgãos ambientais têm aplicado legislações ambientais com maior rigor. No Brasil, a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, que tem como objetivo proposto assegurar disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos através da utilização racional e integrada dos recursos hídricos (BRASIL, 1997). Parte do crescente consumo nos grandes centros urbanos, onde há intensa atividade econômica, se deve à expansão do setor automobilístico, que em resposta gera demanda por grande quantidade de água para a lavagem veicular.

Segundo dados da FENABRAVE (2012), entre 2005 e 2012 o progresso de vendas de veículos foi de 166%. Essa informação mostra que o mercado de lavagem veicular é uma área que exige atenção para os seus potenciais impactos ambientais.

Uma das maiores limitações para a melhor gestão deste recurso em postos de lavagem é a falta de conhecimento sobre os impactos do escoamento poluído, pois geralmente a população não percebe a contaminação quando comparado a efluentes industriais. O que pode ser constatado na quantidade de estabelecimentos que adotam algum tipo de tratamento ao seu efluente (LAU et al., 2013).

Assim, o reúso de água é visto como um importante instrumento de gestão ambiental e detentor de tecnologias já consagradas para a sua adequada utilização. As águas residuais tratadas têm grande importância na gestão dos recursos hídricos, podendo ser utilizada para fins menos nobres, liberando fontes de água de boa qualidade para abastecimento público e outros usos prioritários (MORELLI, 2005).

Alguns estudos que abordam o tratamento de água de lavagem veicular já foram propostos por alguns autores. Processo de eletrocoagulação e oxidação anódica; oxidação química; floculação-flotação em coluna; biofiltros aerados e flotação por ar dissolvido são alguns destaques nessa área (TEIXEIRA, 2003; MAGALHÃES, 2005; PANIZZA & CERISOLA, 2010; BHATTI et al., 2011; ETCHAPORE, 2012).

Uma nova alternativa para o tratamento de água de lavagem é o processo de eletrocoagulação, pois possui elevada eficiência na remoção de grande quantidade de poluentes. A eletrocoagulação envolve a geração de coagulantes, pela dissolução de íons metálicos, associada à formação de gás de hidrogênio. Os íons metálicos formados floculam retendo os contaminantes, enquanto o gás hidrogênio flutua carreando essas partículas à superfície (FOUAD, 2014).

Essa tecnologia possibilita ampliar a capacidade de tratamento dos sistemas físico-químicos tradicionais, pois utiliza os mesmos fundamentos básicos de coagulação-floculação. (KATAL & PAHLAVANZADEH, 2011).

O objetivo do presente trabalho é avaliar o tratamento do efluente gerado em posto de lavagem na cidade de Londrina e sua tratabilidade pelo processo de eletrólise.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foi escolhido como local para a coleta do efluente um lava rápido localizado na região central da cidade de Londrina, onde existem muitos prédios residenciais que impossibilitam a lavagem pelos proprietários. O posto de lavagem possui um sistema de dois tanques de separação de óleo construídos em concreto e enterrados no solo. O acesso aos tanques é realizado por tampas de concreto que lacram cada um dos tanques. O efluente foi manualmente coletado com auxílio de recipientes plásticos e armazenado em galão de 20 litros para transporte.

O trabalho experimental foi realizado nos Laboratório de Saneamento e Laboratório de Fenômenos de Transporte, ambos do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Londrina. Os experimentos analíticos foram feitos com os equipamentos: potenciômetro, espectrofotômetro, turbidímetro, estufa, mufla e balança analítica. As análises e ensaios utilizados são do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

O procedimento experimental consistiu de ensaios de eletrofloculação realizados em reator tipo batelada. A célula eletrolítica utilizada é composta por um recipiente de plástico com capacidade de 500 mL, no qual são inseridos verticalmente e paralelamente eletrodos de alumínio e de carbono ligados a uma fonte de potencial de corrente contínua. O alumínio foi utilizado neste estudo pela facilidade de disponibilidade e pelo baixo custo. O espaçamento entre os eletrodos utilizado foi de cinco milímetros, padrão mínimo para que não ocorram curtos circuitos e distância ótima para a ascensão das microbolhas de oxigênio.

No corpo do reator foi feito um orifício para coletar a água tratada, já que o material particulado flotado e as escumas formadas são desestabilizadas quando a coleta é realizada por pipetagem superficial. Após a adição de efluente no reator, o sistema foi mantido sob agitação constante por meio de agitador magnético.

Todos os ensaios foram feitos com inversão de polaridade, onde o eletrodo que se comporta como cátodo, por determinado tempo, passa a se comportar como ânodo após a inversão de polaridade. Tal inversão diminui a passivação, aumentando a vida útil do eletrodo em até duas vezes e ao mesmo tempo diminui a resistividade do sistema (CERQUEIRA, 2006).

Foram estabelecidas condições de variações de corrente contínua, tempo de flotação e tempo de oxirredução do alumínio (Tabela 1). O tempo de 3 (três) minutos foi estabelecido para coleta após o repouso do sistema. Todos os ensaios foram feitos em triplicatas e a média analisada.

**TABELA 1** - Variações de tempo e corrente aplicada.

Corrente	Tempo de Coagulação	Tempo de Flotação
90 mA	13'20"	
	17'30"	16'40"
	26'40"	
150 mA	8'00"	
	12'00"	10'00"
	16'00"	
240 mA	5'00"	
	7'30"	6'15"
	10'00"	

Fonte: Autores.

Após todos os procedimentos experimentais foram coletadas amostras para análise dos parâmetros e avaliação dos resultados. Para avaliar o desempenho do eletrodo de alumínio na remoção de DQO e turbidez, sob diferentes condições de tempo e corrente, os parâmetros avaliados foram pH e condutividade, tendo em vista que os mesmos podem exercer influência sobre o processo eletroquímico.

Antes da coleta das amostras, observou-se a necessidade de descarte do conteúdo inicial estagnado na válvula de saída do sistema para evitar contaminações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características básicas do efluente bruto foram: pH médio de 7,5 e condutividade elétrica média de 0,3 mS/cm, não sofrendo grandes alterações com o tempo ou com as diferentes amostras coletadas. A DQO do efluente teve resultados que variaram de 111,4 a 165,7 mg/L. A turbidez apresentou resultado médio de 496 UNT. A seguir estão dispostos os resultados dos parâmetros analisados.

### Análise da Turbidez

A remoção de turbidez para todos os ensaios realizados foi maior que 96% (vide Tabela 2), com média de remoção de 96,8%. A maior remoção de turbidez obtida pelos sistemas analisados foi de 98,18% com uma turbidez residual de 9 UNT. A turbidez média da água de lavagem de automóveis foi de 496 UNT.

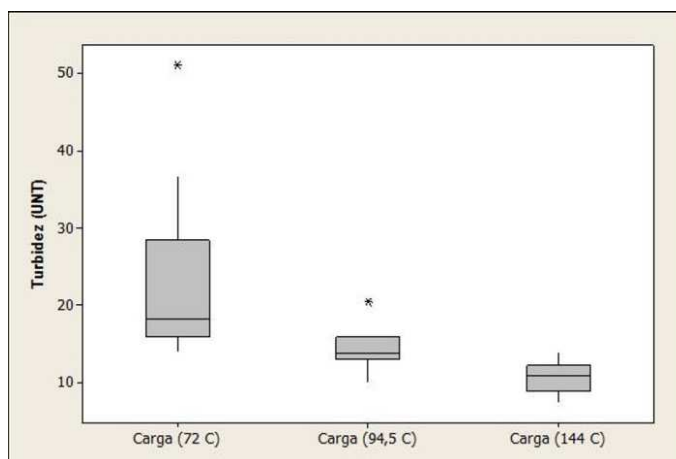
**TABELA 2** - Eficiência de remoção de Turbidez

Corrente	Tempo (min)	Turbidez Média (UNT)	Remoção (%)
90	13'20"	16 ± 2,3	96,77 ± 0,48
90	17'30"	12 ± 1,7	97,55 ± 0,35
90	26'40"	9 ± 1,8	98,18 ± 0,36
150	8'00"	24 ± 11,4	95,26 ± 2,30
150	12'00"	14 ± 1,21	97,09 ± 0,24
150	16'00"	11 ± 1,74	97,78 ± 0,35
240	5'00"	30 ± 18,4	93,98 ± 3,71
240	7'30"	17 ± 3,4	96,61 ± 0,68
240	10'00"	12 ± 1,4	97,51 ± 0,29
Bruto	-	496 ± 434	-

Fonte: Autores.

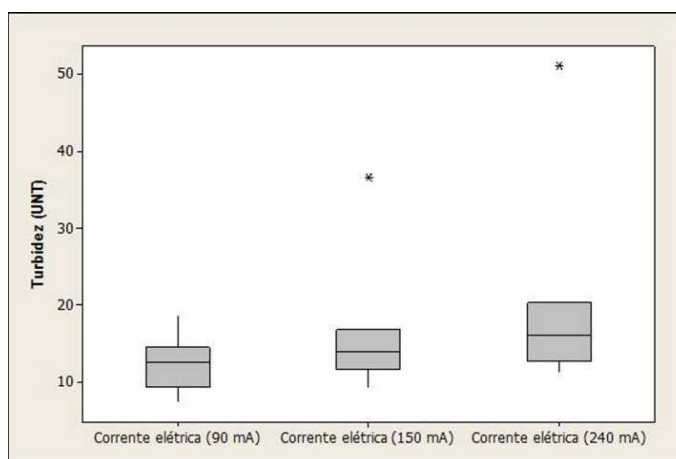
Tais resultados são similares se comparados ao sistema de floculação-flotação em coluna apresentados por ETCHAPORE (2012). Os resultados das análises de turbidez foram em média de 3 a 15 UNT sendo a eficiência de remoção chegando a 91%.

A aplicação de cargas maiores tende a uma maior remoção de turbidez conforme apresentado na Figura 1.



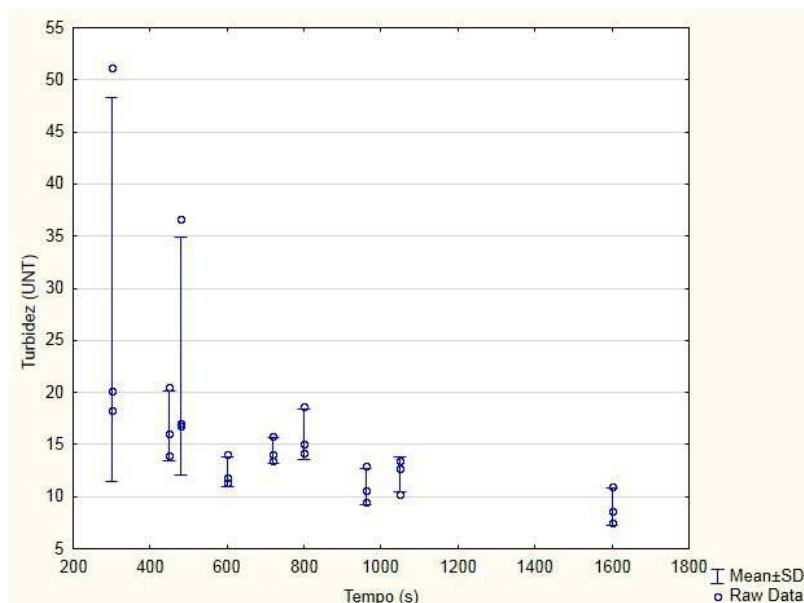
**FIGURA 1** - Remoção de turbidez relacionada à carga aplicada.  
 Fonte: Autores.

Ao analisar as variáveis: corrente elétrica (mA) e tempo (s), observa-se pela Figura 2 que o aumento da corrente não incidiu em uma maior remoção de turbidez. A remoção ótima de turbidez ocorreu com correntes aplicadas de 90 mA (menor corrente elétrica aplicada nos ensaios)



**FIGURA 2** - Remoção de turbidez relacionada à corrente aplicada.  
 Fonte: Autores.

Esse fato pode ser explicado pela Figura 3, na qual se pode verificar a relação direta do tempo com a eficiência, ou seja, um aumento do tempo de carga possibilita, mesmo em correntes elétricas mais baixas, um aumento de remoção de turbidez. Este fator pode ser fundamental para operação de sistemas de tratamento que utilizem esta tecnologia, pois é possível utilizar tempos maiores com correntes menores.



**FIGURA 3** - Remoção de turbidez relacionada ao tempo.  
Fonte: Autores.

A Resolução CONAMA 357/05 estabelece alguns padrões para diferentes classificações de água. A água de reúso em postos de lavagem pode ser enquadrada como água doce Classe 1, de contato primário e com padrões de turbidez correspondentes a 40 UNT (BRASIL, 2005). Portanto o efluente estaria em conformidade com o padrão estabelecido. Porém, pela NBR 13969/97, adota-se como critério de turbidez para águas de reúso, valores menores que 5 UNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997). Este valor poderia ser obtido com o tratamento complementar de sistemas de filtração de areia sob pressão utilizada, por exemplo, em processos de limpeza de água de piscinas.

### Análise de DQO

Pela análise de DQO é possível estimar indiretamente a quantidade de matéria oxidável existente no efluente e a quantidade removida com a eletrocoagulação. A remoção de DQO para a maioria dos ensaios realizados foi maior que 30%, exceto para um dos ensaios de 240 mA, onde a remoção foi em torno de 8%. A maior remoção de DQO foi de 51,6% com uma DQO residual de 69 mg/L. A remoção média de todos os ensaios foi de aproximadamente 96,8 %.

A Tabela 3 mostra as eficiências de remoção atingidas com o tratamento eletrolítico com as respectivas correntes elétricas e variações de tempo.

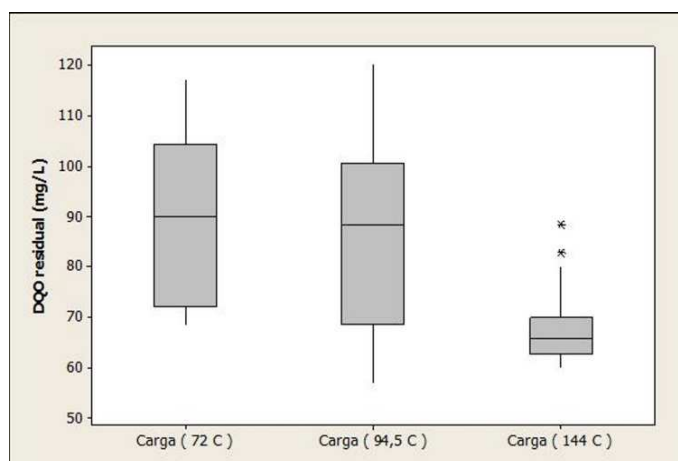
**TABELA 3** - Eficiência de remoção de DQO.

Corrente (mA)	Tempo	DQO média (mg/L)	Remoção (%)
90	13'20"	84 ± 8,4	41,32 ± 5,89
90	17'30"	83 ± 11,3	41,99 ± 7,89
90	26'40"	69 ± 3,6	51,66 ± 2,52
150	8'00"	96 ± 11,7	32,99 ± 8,16
150	12'00"	90 ± 11,8	36,99 ± 8,24
150	16'00"	77 ± 9,0	45,99 ± 6,32

240	5'00"	130 ± 84,4	8,66 ± 59,08
240	7'30"	87 ± 20,7	38,99 ± 14,45
240	10'00"	80 ± 11,3	44,32 ± 7,89
Bruto	-	143 ± 38	-

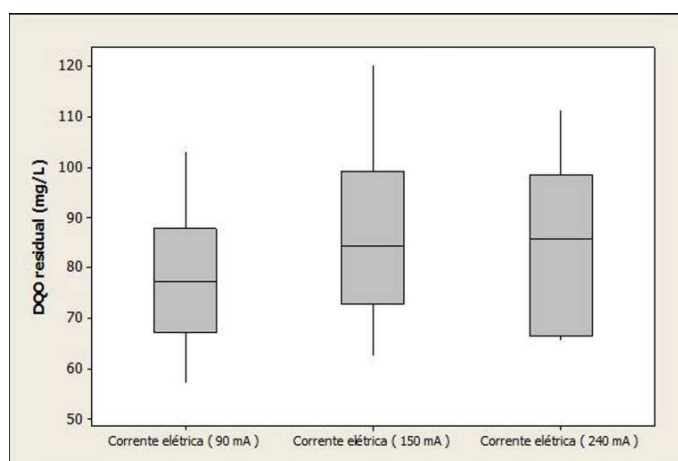
Fonte: Autores.

A Figura 4 demonstra que a aplicação de cargas maiores ao efluente tende a uma maior remoção de DQO.



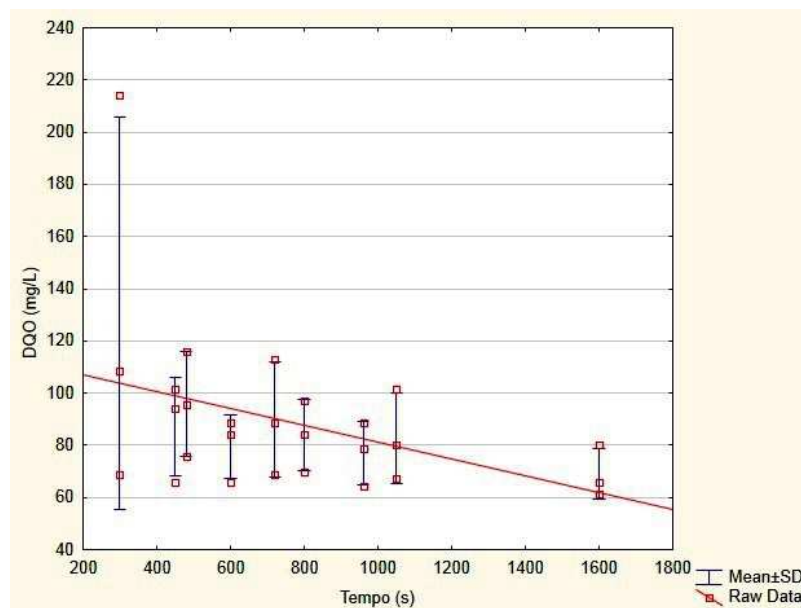
**FIGURA 4** - Remoção de DQO relacionada à carga aplicada.  
Fonte: Autores.

Ao avaliar as variáveis corrente elétrica (mA) e tempo (s) de acordo com a Figura 5, percebe-se que os resultados não expressam tendência na remoção de DQO. Porém nesta análise o melhor resultado para a remoção ocorreu com correntes aplicadas de 90 mA (menor corrente elétrica aplicada nos ensaios).



**FIGURA 5** - Remoção de DQO relacionada à corrente aplicada.  
Fonte: Autores.

Avaliando a Figura 6, nota-se que os valores de DQO decaem conforme o tempo de eletrocoagulação aumenta. Isso é decorrente da quantidade de alumínio que é reduzido e dissolvido no efluente. Semelhante à remoção de turbidez, este fator pode ser importante em sistemas de tratamento reais.



**FIGURA 6** - Remoção de DQO relacionada ao tempo.

Fonte: Autores.

Em estudo semelhante, PANIZZA & CERISOLA (2010) investigaram a eficiência da eletrocoagulação com eletrodos de ferro em água residuária de um lava rápido situado na cidade de Gênova (Itália). Os resultados gerados pelo estudo dos autores mostram que a eficiência de remoção de DQO foi de 75% em condições ótimas de densidade de corrente à 2mA/cm<sup>2</sup> e tempo de eletrocoagulação de 6 min.

### Análise de pH

No processo de eletrocoagulação pode-se notar, pela Tabela 4, uma discreta tendência ao aumento do pH que ocorre pelo processo de adição de coagulante na forma de alumínio à solução. Uma das vantagens da eletrofloculação é a capacidade de neutralizar o pH do efluente.

A inversão de polaridade do eletrodo passa a liberar mais íons alumínio e a formar maior quantidade de hidroxila aumentando o pH e a eficiência de remoção. O aumento do pH também pode ser atribuído ao consumo de H<sup>+</sup> decorrente da formação de hidrogênio no cátodo proveniente da eletrólise da água (CERQUEIRA, 2006).

**TABELA 4** - Comportamento do pH após o tratamento.

Corrente (mA)	Tempo	pH médio
90	13'20"	7,97 ± 0,11
90	17'30"	7,90 ± 0,18
90	26'40"	7,83 ± 0,07
150	8'00"	7,86 ± 0,04
150	12'00"	7,80 ± 0,04
150	16'00"	7,72 ± 0,08
240	5'00"	7,86 ± 0,18
240	7'30"	7,77 ± 0,05
240	10'00"	7,58 ± 0,08
Bruto	-	7,56 ± 0,10

Fonte: Autores.



De acordo com PANIZZA & CERISOLA (2010), uma vantagem do tratamento de águas residuais de postos de lavagem veicular é a faixa predominante de pH encontrado nesses efluentes (entorno de pH 7) que não requer a adição de produtos químicos para sua correção.

### **Análise da Condutividade**

Quanto à condutividade elétrica, após o sistema de tratamento, pode-se afirmar que a remoção foi relativamente pequena. Para esta variável os ensaios apresentaram valores muito próximos com tendência de uma menor condutividade elétrica residual para as cargas maiores. Porém, a eletrocoagulação não apresentou eficiência de remoção significativa para a variável condutividade elétrica.

**TABELA 5** - Comportamento da condutividade após o tratamento

Corrente (mA)	Tempo	Condutividade média
90	13'20"	0,290 ± 0,020
90	17'30"	0,293 ± 0,021
90	26'40"	0,287 ± 0,023
150	8'00"	0,297 ± 0,068
150	12'00"	0,283 ± 0,021
150	16'00"	0,277 ± 0,032
240	5'00"	0,297 ± 0,015
240	7'30"	0,287 ± 0,006
240	10'00"	0,283 ± 0,011
Bruto	-	0,313 ± 0,012

Fonte: Autores.

FORMENTINI, (2012) cita que a alta condutividade favorece desempenho do processo. Quando a condutividade da solução aumenta, a resistência total na solução diminui, e a tensão aplicada será menor o que, conseqüentemente, provoca a queda no consumo de energia.

### **CONCLUSÃO**

Para o reúso do efluente de lavagem de veículos, onde o interesse maior é na remoção de turbidez, a eficiência obtida pelo método de eletrocoagulação é viável tecnicamente, pois este parâmetro apresentou redução de 97% do valor inicial. Já a remoção de DQO teve eficiência média de 38%, isso pode estar relacionado à quantidade de coagulante baixa contida no processo eletroquímico.

Também é importante notar que o pH neutro do efluente contribuiu para a formação de flocos com diâmetros ótimos para a ascensão destes junto as bolhas de gases formados na eletroflotação. Desta forma, pode-se adotar sistemas de eletrocoagulação e eletroflotação em sistemas de tratamento e reúso de águas de lavagem de veículos com grande vantagem em relação aos processos de sedimentação utilizados atualmente.

### **REFERÊNCIAS**

APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22 ed. Washington, DC: APHA, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

BHATTI, Z. A. et al. Chemical oxidation of carwash industry wastewater as an effort to decrease water pollution. **Physics and Chemistry of the Earth**, n. 36, p. 465-469, 2011.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 . Estabelece a Política Nacional Dos Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 8 de janeiro de 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005.

CERQUEIRA, A. A. **Aplicação de técnicas de eletrofloculação no tratamento de efluentes têxteis**. 2006. 111f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

ETCHEPARE, R. G. **Integração de processos no tratamento de efluentes de lavagem de veículos para reciclagem de água**. 2012. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FEDERAÇÃO NACIONAL DA DISTRIBUIÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES - Fenabrave. **Anuário, 2012**. Disponível em: <<http://www3.fenabrave.org.br:8082/plus/modulos/listas/index.php?tac=indices-e-umeros&idtipo=6&id=501&layout=indices-e-numeros>>. Acesso em: 25 jul. 2013.

FORMENTINI, D. F. **Tratamento eletroquímico de esgotos sanitários**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

FOUAD, Y.O. Separation of cottonseed oil from oil–water emulsions using electrocoagulation technique. **Alexandria Engineering Journal**, v. 53, p. 199–204, nov. 2014.

KATAL, R., PAHLAVANZADEH, H. Influence of different combinations of aluminum and iron electrode on electrocoagulation efficiency: Application to the treatment of paper mill wastewater. **Desalination**, n. 265, p. 199–205. 2011.

LAU, W. J., ISMAIL, A. F., FIRDAUS, S. Car wash industry in Malaysia: Treatment of car wash effluent using ultrafiltration and nanofiltration membranes. **Separation and Purification Technology**, n. 104, p. 26–31, 2013.

MAGALHÃES, A. F. R. **Proposição, implantação, partida e ajustes de reatores biológicos e físico-químicos para tratamento e reciclagem de efluentes de lavadores de veículos em escala real**. 2005. 136 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MORELLI, E. B. **Reúso de água na lavagem de veículo**. 2005. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PANIZZA, G. M., CERISOLA, G. Applicability of electrochemical methods to carwash wastewaters for reuse. Part 2: Electrocoagulation and anodic oxidation integrated process. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, n. 638, p. 236–40, 2010.

TEIXEIRA, P. C. **Emprego da flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água**. 2003. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.