

II-234 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUAS CINZAS DE MÁQUINA DE LAVAR, DURANTE O ARMAZENAMENTO, COM FINALIDADE DE REÚSO

Marcio Gomes Barboza⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela UFAL. Mestre e Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor Associado VI do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

Elina Wanessa Ribeiro Lopes⁽²⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Alagoas (2016).

Laura Honório de Oliveira Silva⁽³⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Alagoas. Colaboradora IC.

Ivo Gabriel Guedes Alves⁽⁴⁾

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Alagoas. Bolsista IC.

Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira⁽⁵⁾

Professora Titular do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas. Engenheira Civil e Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (*Campus II - Campina Grande*). Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).

Endereço⁽¹⁾: Av. Lourival Melo Mota, s/n – Tabuleiro do Martins - Maceió – AL. CEP: 57072-900 - Brasil - Tel: (82) 3214-1275 - e-mail: gb.marcio@gmail.com.

RESUMO

A água é um recurso renovável e abundante, apresentando múltiplos usos. Porém sua utilização é limitada em função de suas características e de sua demanda. A escassez de água para consumo humano despertou a necessidade de alternativas para sua conservação e racionalização, uma dessas é o reúso de águas cinzas. O presente trabalho avaliou a qualidade da água cinza, proveniente de máquina de lavar roupas, durante o armazenamento, e indicou atividades para o reúso doméstico desse efluente. Para isso, foram realizadas coletas de amostras da água usada na lavagem de roupas de uma residência em Maceió-AL, que já pratica o reúso. A caracterização físico-química e microbiológica foi realizada no Laboratório de Saneamento Ambiental da UFAL. Os parâmetros de qualidade avaliados foram: sulfatos, sulfeto total, DQO, DBO₅, OD, pH, coliformes totais e *E. coli*. De modo geral, as amostras passaram por modificações significativas na maioria dos parâmetros analisados, apresentando degradação da sua qualidade.

PALAVRAS-CHAVE: Caracterização de efluentes, reúso, águas cinzas, efluentes de máquina de lavar, armazenamento.

INTRODUÇÃO

A falta e/ou falhas do tratamento de efluentes lançados nos mananciais em potencial, aliada à crescente demanda por água em função do crescimento populacional e ao uso indiscriminado, leva à falta desse recurso em algumas regiões do país.

Torna-se urgente, portanto, a busca pela sustentabilidade no ciclo urbano, com o uso de práticas de conservação tais como: a busca por fontes alternativas, como águas residuárias para reúso; a separação das águas residuárias domésticas, na fonte de geração, que exijam graus diferenciados de tratamento, como as águas cinzas e negras, que facilitem sua reutilização para fins não potáveis (GONÇALVES et al., 2006).

A segregação dos efluentes domésticos, particularmente as águas cinzas (efluentes de chuveiro, lavatórios, lavagem de roupas, banheiras, excluindo vaso sanitário e pia de cozinha) aumenta suas possibilidades de reúso após tratamento adequado, além da otimização de recursos. Dentre os reúsos domésticos das águas cinzas, os mais comuns são descargas de vasos sanitários e irrigação de jardins (GONÇALVES; JORDÃO, 2006). A reutilização de águas cinzas para tais finalidades pode reduzir o consumo doméstico de água em até 50% (MAIMON et al. 2010).

Em um sistema de reúso, geralmente há necessidade de um reservatório de armazenamento anterior à etapa de tratamento do efluente, uma vez que a produção e o consumo de água ocorrem em períodos distintos. Assim, muitas vezes pode ocorrer variação de qualidade ao longo do tempo, durante o armazenamento, quanto a alguns parâmetros físico-químicos, microbiológicos e aspectos estéticos (COHIM *et al.*, 2010).

O objetivo geral do trabalho foi avaliar a qualidade físico-química e microbiológica de águas cinzas provenientes da máquina de lavar roupas, durante o armazenamento, com finalidade de reúso.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi aplicado em uma residência que já possuía um sistema de reúso, onde a água proveniente da máquina de lavar roupas é armazenada e utilizada posteriormente. A máquina de lavar do sistema em questão requer três enchimentos de sua bacia durante o processo de lavagem. O primeiro deles descarta água de lavagem, que possui alta concentração de matéria orgânica e sabão e os dois últimos enchimentos descartam a água de enxágue da roupa, mais diluída e menos propensa à deterioração ao ser armazenada (DE PAES, 2013).

O sistema de reúso proposto baseia-se na separação da água de enxágue, onde o enchimento resulta em um efluente com padrões que propiciam um melhor aproveitamento. Essa água é armazenada em um reservatório, e é utilizada para fins menos nobres, caracterizando o reúso de águas cinzas. O sistema funciona da seguinte forma: a água da máquina de lavar é direcionada para uma bombona de 80L e fica armazenada nesse recipiente. Ao atingir a sua capacidade máxima fecha-se a válvula que leva a água para a bombona e abre-se a válvula que direciona o efluente para a rede coletora de esgotos, conforme esquema apresentado na Figura 1.

As amostras coletadas foram analisadas a partir de contribuição única, não havendo mistura com efluentes anteriores e foram armazenadas em recipientes protegidos da luz, em condições de repouso e temperatura ambiente. O tempo de armazenamento do efluente simula o tempo de armazenamento que é empregado no sistema em questão, onde o mesmo é utilizado em, no máximo, uma semana após sua geração.

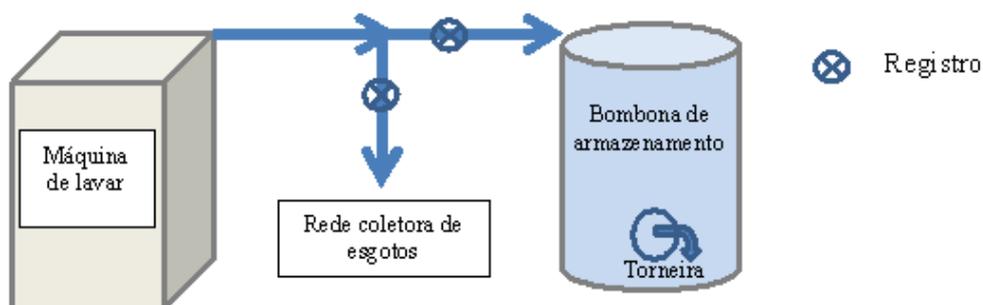


Figura 1: Esquema ilustrativo do sistema experimental.

A avaliação da qualidade do efluente após armazenamento foi direcionada para os parâmetros relacionados com formação de odor e proliferação de microrganismos. Assim, durante o armazenamento, definiu-se como prioridade analisar os parâmetros apresentados na Tabela 1, conforme recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

Também foi realizada uma avaliação simplificada (cor aparente, turbidez, pH, sulfatos e cloretos) da água de abastecimento da residência, com o objetivo de atestar a ausência de problemas na água utilizada que possam interferir na análise dos resultados do efluente.

Tabela 1: Parâmetros avaliados e métodos analíticos utilizados.

Parâmetros	Unidade	Método Analítico
pH	-	Método eletrométrico
Sulfatos	mg/L	Método turbidimétrico
Sulfeto total	mg S ⁻² /L	Método titulométrico
DQO	mg/L	Método colorimétrico
DBO ₅	mg/L	Método manométrico (equipamento - modelo BOD - OxiDirect)
Oxigênio Dissolvido	mg/L	Método de Winkler (modificado pela azida sódica)
Coliformes totais	UFC/100 mL	Filtração em membrana utilizando meio de cultura cromogênico
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL	

RESULTADOS OBTIDOS

A avaliação simplificada da água de abastecimento, levando em conta alguns dos principais parâmetros de qualidade a serem investigados numa análise de água (cloretos, cor aparente, turbidez, pH, sulfatos e cloretos), forneceu os dados apresentados na Tabela 2. Os valores encontrados foram confrontados com a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, que estabelece os padrões de potabilidade da água (BRASIL, 2011).

Tabela 2: Análise simplificada da água de abastecimento.

Parâmetros	Unidade	Resultados	Portaria N° 2.914/2011
Cor aparente	uC	9,0	≤15
Turbidez	UNT	1,7	≤ 5,0
pH	-	6,0	6,0 – 9,5
Sulfatos	mg / L	32,8	≤ 250
Cloretos	mg / L	9,8	≤ 250

A água de abastecimento analisada no presente estudo mostrou-se apta para consumo humano, para os parâmetros analisados, e atende aos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Os resultados das análises do efluente gerado antes e depois do armazenamento, e após uma análise estatística simplificada, podem ser vistos nas Tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3: Resultados das análises químicas para o efluente recém-gerado (T0) e após o armazenamento pelo período de 7 dias (T7).

Amostra	DQO (mg/L)		DBO ₅ (mg/L)		OD (mg/L)		Sulfatos (mg/L)		Sulfetos (mg/L)		pH	
	T0	T7	T0	T7	T0	T7	T0	T7	T0	T7	T0	T7
14/03/16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,8	6,0
04/09/16	185,6	190,3	6	-	8,6	5,2	14,6	9,7	<0,5	<1,0	7,84	6,2
11/09/16	90,7	< 80	1,79	0	8,3	6,5	32	13,4	<1,0	<0,5	5,34	6,3
18/09/16	86,5	141,5	4,6	0,4	10,9	7,1	18	< 2,5	<0,5	<0,5	6,75	6,2

(-) Parâmetro não analisado

Tabela 4: Resultado das análises microbiológicas para o efluente recém-gerado (T0) e após o armazenamento pelo período de 7 dias (T7).

Amostra	<i>E. coli</i> (UFC/100mL)		Coliformes totais (UFC/100mL)	
	T0 (dia)	T7 (dia)	T0 (dia)	T7 (dia)
21/03/16	0	0	0	0
28/03/16	0	2	0	2
18/04/16	0	0	0	0
25/04/16	0	0	0	0
04/09/16	300	0	500	100
11/09/16	10	0	10	0
18/09/16	0	0	2	8

Tabela 5: Análise estatística do efluente recém-gerado (T0) e após o armazenamento pelo período de 7 dias (T7).

Parâmetro	Unidades	Número de amostras	Média		Mínimo		Máximo	
			T0	T7	T0	T7	T0	T7
OD	(mg/L)	3	9,3	6,3	8,3	5,2	10,9	7,1
DQO	(mg/L)	3	121,0	165,9	86,5	< 80	185,6	190,3
DBO ₅	(mg/L)	3	4,1	0,2	1,8	0,0	6,0	0,4
pH	-	4	6,43	6,17	5,34	6,01	7,8	6,27
Sulfato	(mg/L)	3	21,55	11,6	14,6	< 2,5	32	13,45
Sulfeto total	(mg/L)	3	< 0,5	< 1,0	< 0,5	< 0,5	< 1,0	< 1,0
Coliformes totais	(UFC/100 ml)	6	100,4	2	0	0	500	> 100
<i>E. coli</i>	(UFC/100 ml)	6	51,7	0,3	0	0	300	2

De modo geral, as amostras passaram por modificações significativas na maioria dos parâmetros analisados e, com exceção dos coliformes, apresentaram degradação da sua qualidade. Dixon *et al.* (1999) apud Bazzarella (2005) apresentam algumas hipóteses para explicar as mudanças da qualidade das águas cinzas armazenadas, como: (i) a depleção de oxigênio dissolvido em função do crescimento de organismos aeróbios nas primeiras horas de estocagem do efluente; (ii) a reaeração do oxigênio dissolvido na água em função da variação de temperatura; e (iii) a liberação da DQO solúvel devido à degradação anaeróbia do material particulado sedimentado.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

• **Oxigênio Dissolvido (OD)** – Sendo o OD o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos, faz-se necessário avaliar as suas condições. A sua baixa concentração na água, ou ausência, leva à condição de anaerobiose, acarretando no aumento das atividades das bactérias anaeróbias e possível geração de odores desagradáveis. De acordo com os dados apresentados, no período de armazenamento foi observada uma pequena depleção de oxigênio dissolvido como consequência da degradação da matéria orgânica por microrganismos aeróbios. A concentração média de OD passou de 9,3 mg/L no momento da coleta (T0) e atingiu aproximadamente 6,3 mg/L, após sete dias de armazenamento. A elevada concentração de OD no efluente recém produzido, provavelmente, deve-se à aeração da água por agitação, durante a lavagem. A diminuição da relação DBO₅/DQO após o período de armazenamento confirma esta hipótese (biodegradação). O baixo consumo de oxigênio dissolvido deve-se ao baixo teor de material orgânico biodegradável (DBO) na amostra.

• **Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)** – A relação entre a DQO/DBO₅ foi muito alta em ambos os casos (T0 e T7), indicando que a fração inerte (não biodegradável) é

elevada e que o tratamento mais indicado para o efluente é o físico-químico (VON SPERLING, 2005). A baixa concentração de DBO_5 está relacionada ao fato de que se trata de efluente do 2º ciclo de lavagem, ou seja, quando a maior parte dos resíduos de sujeira das roupas já foi eliminada no primeiro ciclo.

• **Potencial Hidrogeniônico (pH)** – A variação de pH influencia no equilíbrio de compostos químicos e no crescimento dos microrganismos. Os processos biológicos são mais estáveis para valores de pH entre 6,5 – 7,5 (FORESTI, 2013). A faixa de pH antes do armazenamento variou entre 5,34 – 7,84, alternando entre condições ácidas e básicas. Ressalta-se que a água de abastecimento da residência é ligeiramente ácida (pH 6,0). Após o armazenamento o efluente apresentou valores de pH em torno de 6,17, um pouco abaixo da faixa ótima de crescimento dos microrganismos. Processos de oxidação biológica tendem a reduzir o pH, o que foi observado no efluente estudado, confirmando os resultados obtidos para a DBO_5 . Em relação ao pH quanto menor o valor do mesmo, maior a proporção de sulfeto na forma de gás sulfídrico (H_2S), responsável por odores desagradáveis.

• **Sulfato e sulfeto total** – São os parâmetros mais impactantes no presente estudo, suas modificações relacionam-se com os parâmetros citados acima. A redução de sulfato a sulfeto na forma de gás sulfídrico (H_2S) é o principal causador de odores desagradáveis, e é objeto de estudo do armazenamento do efluente. Foi observado que o sulfato sofre degradação ao longo do armazenamento, no processo conhecido como dessulfuração, indicando potencial formação de sulfeto como gás sulfídrico, causador de maus odores. A dessulfuração é a decomposição da matéria orgânica com a liberação de H_2S e mercaptanas, e é catalisada por bactérias proteolíticas (ATLAS; BARTA, 1987). A redução de sulfato a sulfeto ocorre sob condições anaeróbias, as quais não foram observadas, já que os níveis de oxigênio dissolvido foram elevados e assim não favoreceram o crescimento de bactérias redutoras de sulfato. Nas amostras analisadas, a formação de sulfetos, durante o período de estocagem, não foi suficiente para a geração de odores, visto que estes só são perceptíveis quando a fração de gás sulfídrico é maior que 1,0 mg/L (GONÇALVES *et al.*, 2009), o que não ocorreu no presente estudo.

• **Coliformes totais e *E. coli*** – Das 6 amostras analisadas para estes parâmetros, em apenas duas amostras foi detectado um pequeno recrescimento, em uma das amostras houve um decaimento de 80% do valor inicial e nas quatro amostras restantes não foi detectada a presença de bactérias do grupo coliforme em nenhum dos cenários. O decaimento de coliformes totais e de *E. coli* ocorreu, provavelmente, porque as condições ambientais durante o armazenamento não foram favoráveis ao seu crescimento. A formação de colônias é influenciada pela temperatura e presença de substratos. Cohim *et al.* (2010), avaliando a qualidade de águas cinzas sintéticas após período de armazenamento de 5 dias, também verificaram o decaimento gradual das concentrações de coliformes termotolerantes, mas não constataram recrescimento.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

As características do efluente após o armazenamento de 7 (sete) dias indicam uma deterioração da qualidade da água em termos de OD. Apesar do decaimento do oxigênio dissolvido, o efluente não chegou a condições próximas da anaerobiose, portanto, não apresentou características estéticas desfavoráveis.

Apesar da diminuição da quantidade de sulfato, a formação de odores não foi observada, tendo em vista que a formação de sulfeto total, que engloba o gás sulfídrico, foi muito baixa.

Com relação aos indicadores microbiológicos, o período de armazenamento contribuiu para seu decaimento, tal fato pode ter ocorrido porque as condições de armazenamento não foram favoráveis para o seu crescimento.

Como sugestões a serem consideradas em trabalhos futuros, tem-se: (i) estender o tempo de armazenamento, além de avaliar um número maior de amostras; (ii) determinar o tratamento mais adequado para esse tipo de efluente; (iii) analisar a viabilidade ambiental e econômica do reúso da água de todos os ciclos e não somente a do segundo ciclo de lavagem de roupa.

A obtenção dessas informações servirá como base para novos estudos, que podem resultar na elaboração e aplicação de projetos de reúso eficientes. Projetar um sistema automatizado para esse tipo de atividade seria interessante, a fim de evitar desperdícios e facilitar o processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 21th edition. Washington. 2005.
2. ATLAS, R. M.; BARTHA, R. Microbial Ecology - Fundamentals and Application. 2nd edition. The Benjamin/ Cummings Publishing Company Inc. Menlo Park, California, 1987. 522 p.
3. BAZZARELLA, B.B. Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo – ES, 2005.
4. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2011.
5. COHIM, E.; KIPERSTOK, A.; PASSOS, V. G. A.; PEIXOTO, A. C. B. Evaluation of synthetic greywater quality during storage. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica. v.03, n.1, p. 36-48, 2010.
6. DE PAES, R.P. Reações comportamentais de usuários de reúso de água cinza em domicílios. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Bento Gonçalves – RS, 2013.
7. FORESTI, E. Capítulo 18 – Tratamento de esgotos. In: CALIJURI, M. C. CUNHA, D. G. F. *Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
8. GONÇALVES, R. F.; ALVES, W. C.; ZANELLA, L. Conservação da água no meio urbano. Cap. 2. In: *Uso Racional da Água em Edificações*. Ricardo Franci Gonçalves (Coord.). Rio de Janeiro: ABES, 2006.
9. GONÇALVES, R. F.; JORDÃO, E. P. Introdução. Cap. 1. In: *Uso Racional da Água em Edificações / Ricardo Franci Gonçalves (Coord.)*. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.
10. GONÇALVES, R. F.; JORDÃO, E. P. JANUZZI, G. Cap. 1- Introdução. In: *Uso Racional da Água e Energia. / Ricardo Franci Gonçalves (Coord.)*. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009.
11. MAIMON, A.; TAL, A.; FRIEDLER, E.; GROSS, A. Safe on-Site Reuse of Greywater for Irrigation - A Critical Review of Current Guidelines. *Environmental Science & Technology*, v.44, n.9, p.3213-20, May 2010.
12. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. v. 1. 3^a edição. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 2005.