

POTENCIAL DE REÚSO DAS ÁGUAS DE RESFRIAMENTO DE DESTILADORES LABORATORIAIS

POTENTIAL REUSE OF LAB DISTILLATORS COOLING WATER

Francisca Adriana Fernandes Simões^a, Cley Anderson Silva de Freitas^b, Robson Gonçalves Fechine Feitosa^b, Yannice Tatiane dos Santos Costa^{c,a}, Laisa Daiana Alcântara Costa^a, Camilla de Oliveira Pinho^a, Maria Lucilene Queiroz da Silva^{c,a}, Suélho Pereira dos Santos^a

e-mail: dricaamb@hotmail.com, cleyanderson@ifce.edu.br, robsonfeitosa@ifce.edu.br, yannice@ifce.edu.br, daiana.laisa@gmail.com, camillavida22cbn@gmail.com, lucilenequeiroz.biomed@gmail.com, suelhomauriti@hotmail.com

^a Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE campus Juazeiro do Norte, Brasil.

^b Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE campus Crato, Brasil.

^c Universidade Regional do Cariri (URCA), Brasil.

Submissão: 29 de abril de 2020

Aceite: 18 de junho de 2020

Resumo

A maioria das instituições de ensino e pesquisa possui laboratórios em suas instalações e faz uso de destiladores para produzirem água destilada, sendo este equipamento um grande consumidor de água. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo analisar a qualidade da água de resfriamento dos destiladores do Laboratório de Química (LAQAM) e de Engenharia Ambiental e Sanitária (LEAS) do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*, e quantificar o volume de água desperdiçada por volume de água que é destilada, perante a possibilidade de reutilização dentro dos próprios laboratórios. A análise quantitativa baseou-se na medição da vazão das águas destiladas e de resfriamento, em que se constatou que, a cada 1 litro de água destilada, foram produzidos 29 e 26 litros de água de resfriamento em cada destilador, respectivamente. A análise qualitativa baseou-se em análises físico-químicas e microbiológicas das águas que promovem a refrigeração dos destiladores, seguindo as metodologias da APHA, AWWA e WEF (2012) e Silva e Oliveira (2001), cujos resultados apresentaram qualidade satisfatória se comparados aos padrões de qualidade existentes.

Palavras-chave: Reúso de água; Destilação; Resfriamento.

Abstract

The majority of the teaching and research institutions use in their facilities distillers to produce distilled water, which is a major consumer of water. Thus, this work aimed to analyze the quality of the cooling water of the distillers of the Chemistry Laboratory (LAQAM) and Environmental and Sanitary Engineering (LEAS) of the Federal Institute of Education Science and Technology of Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do North*, and quantify the volume of water wasted by volume of water that is distilled, due to the possibility of reuse for the laboratories. The quantitative analysis was based on the flow measurement of distilled and cooling water, and it was found that, for each 1 liter of distilled water, 29 and 26 liters of cooling water were produced in each distiller, respectively. The qualitative analysis was based on physical-chemical and microbiological analyzes of the waters that promote the cooling of the distillers, following the methodologies of APHA, AWWA and WEF (2012) and Silva and Oliveira (2001), where the results showed satisfactory quality if compared existing quality standards.

Keywords: Water reuse; Distillation; Cooling.

1. INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A escassez de água já é um problema enfrentado por muitos países do mundo, visto que alguns fatores têm provocado a redução da sua qualidade e da sua distribuição, tais como: desenvolvimento desordenado das cidades, poluição, má gestão dos recursos hídricos e elevado crescimento populacional e industrial. Esses fatores geram um aumento na demanda pela água, podendo provocar o esgotamento desse recurso.

Marisco *et al.* (2014) descrevem que a escassez de água pode se dar de duas formas: por quantidade, normalmente ocasionada por causas naturais, como, por exemplo, as secas regionais prolongadas; e por qualidade, provocada geralmente pela ação humana, como os processos de poluição desencadeados a partir do lançamento de efluentes urbanos e industriais nas águas de superfície, intensificação de consumos individuais, desperdícios nos sistemas públicos e prediais em função de vazamentos e procedimentos inadequados relacionados ao uso da água.

Além da causa natural citada por Marisco *et al.* (2014), a quantidade de água também pode ser afetada pelo mau uso do solo e desmatamento das matas ciliares, provocando o assoreamento e alargamento do leito dos rios e consequente aumento da evaporação da água. Rondon, Ribeiro Junior e Silva (2017) também apontam que, na agricultura, os sistemas inadequados de irrigação acarretam desperdícios de água, e que o problema se agrava pelo uso de agrotóxico, causando a contaminação dos lençóis freáticos e leitos dos rios. Silva *et al.* (2012) explicam que uma das alternativas que se têm apontado para o enfrentamento desses problemas é o reúso de água, importante instrumento de gestão ambiental do recurso água e detentor de tecnologias já consagradas para sua adequada utilização.

O reúso de água é uma prática antiga que traz grandes benefícios para o meio ambiente e o homem, proporcionando uma harmonia, sobretudo, por contribuir com o uso sustentável dos recursos hídricos. Firjan (2006 *apud* SOUZA *et al.*, 2016) relata que a vigência de normas e leis relacionadas à utilização dos recursos hídricos tem como objetivo assegurar uma relação harmônica entre as atividades humanas e o meio ambiente, a fim de permitir um equilíbrio

adequado entre os segmentos da sociedade ou setores econômicos. O uso de alternativas tecnológicas para reciclagem ou reúso de água poderá reduzir custos de produção e fomentar a recuperação, preservação e conservação de recursos hídricos e dos ecossistemas urbanos.

Tratando-se da expressão reúso de água, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), por meio da Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005, em seu artigo 2º, definiu reúso como a utilização de águas residuárias, sendo estas: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de indústrias, edificações, da agropecuária e agroindústrias (BRASIL, 2006). No âmbito estadual, conforme a Lei n.º 16.033, de 20 de junho de 2016, a qual dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do estado do Ceará, o reúso de água não potável deverá atender a proteção e promoção da saúde pública, a manutenção da integridade dos ecossistemas, a proteção e preservação dos recursos hídricos existentes e o uso sustentável da água (CEARÁ, 2016).

Já a Resolução nº 2, de 02 de fevereiro de 2017, do Conselho Estadual do Meio Ambiente – COEMA, de uma forma mais abrangente, define água de reúso o efluente que se encontra dentro dos padrões de qualidade exigidos por essa lei, bem como destaca três modalidades para sua utilização: reúso direto de água, quando o seu uso é planejado, sendo a água conduzida ao local de utilização sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos; reúso externo refere-se ao uso de efluentes tratados provenientes das estações administradas por prestadores de serviços de saneamento básico ou terceiros, cujas características permitam sua utilização; e o reúso interno, quando a água de reúso é proveniente de atividades realizadas no próprio empreendimento (CEARÁ, 2017).

Para efeito da referida Resolução, o reúso direto de água não potável descrito no artigo 37 abrange as seguintes modalidades: I – Reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações e combate a incêndio dentro da área urbana; II – Reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de águas de reúso para a produção agrícola e cultivo de florestas plantadas; III – Reúso para fins ambientais: no caso de implantação de projetos de recuperação do meio ambiente; IV –

Reúso para fins industriais: em processos, atividades e operações industriais; e V – Reúso na aquicultura: na criação de animais ou no cultivo de vegetais aquáticos (CEARÁ, 2017).

A crescente demanda por água tem colocado o reúso como prática de atividade de uso racional, tendo em vista que compreende também o controle de perdas e desperdícios, minimizando a produção de efluentes e o consumo de água. Como exemplo de perdas, têm-se as águas de resfriamento descartadas em destiladores de água durante o processo de destilação, podendo estas serem reutilizadas no próprio local de produção, configurando um reúso interno, que é uma forma particular do reúso direto.

A maioria das instituições de ensino e pesquisa possui laboratórios em suas instalações e faz uso de destiladores para produzir água destilada necessária à execução das práticas de ensino e pesquisa, sendo estes imprescindíveis para as atividades desenvolvidas nos experimentos. No entanto, os destiladores apresentam uma desvantagem quanto ao desempenho devido ao elevado desperdício de água potável, principalmente na etapa de condensação.

A destilação é explicada pelo entendimento de que a matéria é constituída por partículas que se locomovem e interagem; trata-se de um método fundamentado nas distinções entre os pontos de ebulição das substâncias (AGUIAR *et al.*, 2018). A condensação, ou liquefação, é o processo físico que transforma a matéria presente no estado gasoso em líquido, ou seja, é o inverso da vaporização (RODRIGUES; SILVA; ATHAYDE JÚNIOR, 2019).

Portanto, o processo de destilação da água se dá por meio do aquecimento da mesma até o ponto de ebulição (100°C) dentro da cuba do destilador; o vapor de água condensa, produzindo, assim, água destilada. Nesse processo, há a geração de grande volume de água de resfriamento, implicando em grandes demandas de água potável. De acordo com Pinto, Capri e Capri Neto (2015), do dispêndio total de água envolvido no processo de destilação, apenas 4,5% resulta em água destilada, o restante, aproximadamente 95,5%, está envolvido exclusivamente no processo de resfriamento, sendo comumente desprezada ao fim do processo.

Em termos de volumes, segundo Dias *et al.* (2016), estima-se que, para produzir 1 litro de água destilada, em média, 21 litros de água

potável são desperdiçados, sob uma proporção de 1/21. No entanto, essa eficiência hídrica pode ser ainda menor, com mais desperdício de água potável, é o que relatam Silva *et al.* (2012), quando citam um destilador, no modelo Pilsen, que requer uma vazão de 50 litros de água refrigerada por litro de água destilada produzida, ou seja, na proporção de 1/50.

Alguns trabalhos, como de Appelt *et al.* (2008), Pinto, Capri e Capri Neto (2015) e Medeiros, Storck e Volpato (2017), foram publicados mostrando a demanda de água requerida para o processo, bem como alternativas para minimizar os desperdícios e fazer o uso sustentável da água. A água de resfriamento produzida e frequentemente descartada dos destiladores poderia ser reutilizada para outros fins, tais como irrigação, descarga de vaso sanitário e limpeza de ambientes, mas, também, para fins mais nobres, como a recirculação nos próprios destiladores e na lavagem de vidrarias dentro dos laboratórios. Como exemplo, Assirati, Pereira e Nunes (2011), na tentativa de contribuir para a conservação dos recursos hídricos, desenvolveram um sistema de refrigeração de fácil construção, baixo custo e que reutiliza de maneira cíclica o fluido refrigerante do condensador de um destilador térmico, mostrando a viabilidade do reúso no próprio sistema de destilação.

Diante da grande demanda hídrica requerida pelos destiladores de água e a preocupação com o elevado desperdício da mesma ao fim desse processo, este trabalho teve como objetivo analisar a qualidade da água de resfriamento dos destiladores instalados nos laboratórios do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*, e quantificar o volume de água desperdiçada por volume de água que é destilada, perante a possibilidade de reutilização dentro dos próprios laboratórios.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no município de Juazeiro do Norte, região sul do Estado do Ceará, tendo como área de estudo o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) *Campus Juazeiro do Norte*, localizado no bairro Planalto, sob coordenadas geográficas 7°14'49" de latitude Sul e 39°18'30" de longitude oeste. O município possui área de 248,832 Km² e

população estimada, em 2018, de 271.926 habitantes (IBGE, 2019).

O IFCE *Campus* Juazeiro do Norte é uma escola da rede federal de educação, criada em 2008, pela Lei nº 11.892, onde oferta cursos de nível médio, tecnológico, licenciatura e bacharelado (BRASIL, 2008). Atualmente, atende um público interno diário de aproximadamente 1.600 pessoas, incluindo alunos, servidores e terceirizados. O *Campus* possui sistema de abastecimento de água próprio, sendo a água captada em um poço profundo com vazão aproximada de $4 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, distribuída para diversos pontos e utilizada para vários fins, tais como: consumo humano (restaurantes e bebedouros), manutenção de laboratórios (destiladores), descarga de vasos sanitários, limpeza em geral, piscina e irrigação dos jardins.

Os procedimentos metodológicos foram realizados considerando três etapas: análise quantitativa e análise qualitativa das águas de resfriamento descartadas no processo de destilação, e as ações realizadas.

2.1 Análise quantitativa

No levantamento do quantitativo dos destiladores em funcionamento no *Campus*, foram encontrados apenas dois, sendo um no Laboratório de Química (LAQAM) e outro no Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária (LEAS). Os dois destiladores de água são do modelo Pilsen, com capacidade máxima de destilação de 5 e 10 litros por hora ($\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$), respectivamente, quando estão funcionando com 100% de eficiência. No sistema Pilsen, a água entra na caldeira, sendo pré-aquecida e, em seguida, chega ao ponto de ebulição e condensa na tampa. Posteriormente, é gotejada no recipiente coletor de água destilada, produzindo água química e bacteriologicamente pura. A Figura 01 mostra um desenho esquemático do destilador no modelo Pilsen e a Figura 02 mostra os destiladores utilizados na pesquisa.

2.1.1 Teste de vazão

A análise quantitativa baseou-se na medição da vazão das águas destiladas e de resfriamento durante o processo de destilação. Para isso, foram realizados testes de vazões através de um método simples, que consistiu em recolher a água em um recipiente graduado, cronometrar o tempo dividindo-o em quatro momentos ininterruptos:

tempo zero minuto (T_0'), vinte minutos (T_{20}'), quarenta minutos (T_{40}') e sessenta minutos (T_{60}'). Para cada tempo, foram medidos os volumes de águas destiladas e de resfriamento oriundas dos dois destiladores.

O T_0' foi considerado o instante em que o destilador foi ligado. Ressalta-se que o fabricante recomenda ligar o equipamento com a vazão de água de resfriamento já acionada. O início da destilação se dá após alguns minutos, quando a água da caldeira entra em ebulição. O volume descartado nesse tempo inicial foi contabilizado no volume final do teste. Durante o teste, o cronômetro não parou e as quantificações dos volumes de água destilados e de resfriamento foram realizadas simultaneamente, nos intervalos dos tempos. Para cada tempo, a vazão foi calculada em litros por minuto ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$). Esse método objetivou a obtenção de vazões fracionadas, num tempo total de 60 minutos, quando, ao final, obteve-se também a vazão em litros por hora ($\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$).

Após o término de cada teste, foi verificada a eficiência dos destiladores, sendo calculada através da vazão em $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$ da água destilada, em que o destilador do LAQAM, segundo o manual do fabricante, destila $5 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ e o do LEAS, com capacidade maior, destila $10 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$, volumes estes destilados quando ambos estão funcionando com 100% de eficiência. A partir dessas informações, foi possível calcular a eficiência de funcionamento de cada destilador.

2.2 Análise qualitativa

Foi realizada a caracterização das amostras de água de resfriamento descartadas nos destiladores, a fim de identificar a qualidade dessas águas para fins de reúso, bem como da água do poço que abastece o *Campus*, para ser feito um comparativo. Coletaram-se e analisaram-se as amostras nos laboratórios de Engenharia Ambiental e Sanitária (LEAS) e de Microbiologia Ambiental (LAMAM) da instituição.

Os procedimentos analíticos foram realizados seguindo as metodologias da APHA, AWWA e WEF (2012) e Silva e Oliveira (2001). Para uma melhor amostragem, efetuaram-se cinco coletas das águas de resfriamento de cada destilador: a 1ª coleta em 17/04/2018, a 2ª em 22/05/2018, a 3ª em 18/06/2018, a 4ª em 08/04/2019 e a 5ª coleta em 30/04/2019, além de uma coleta de água do poço profundo, o qual abastece os destiladores, em 01/07/2019. Tentou-

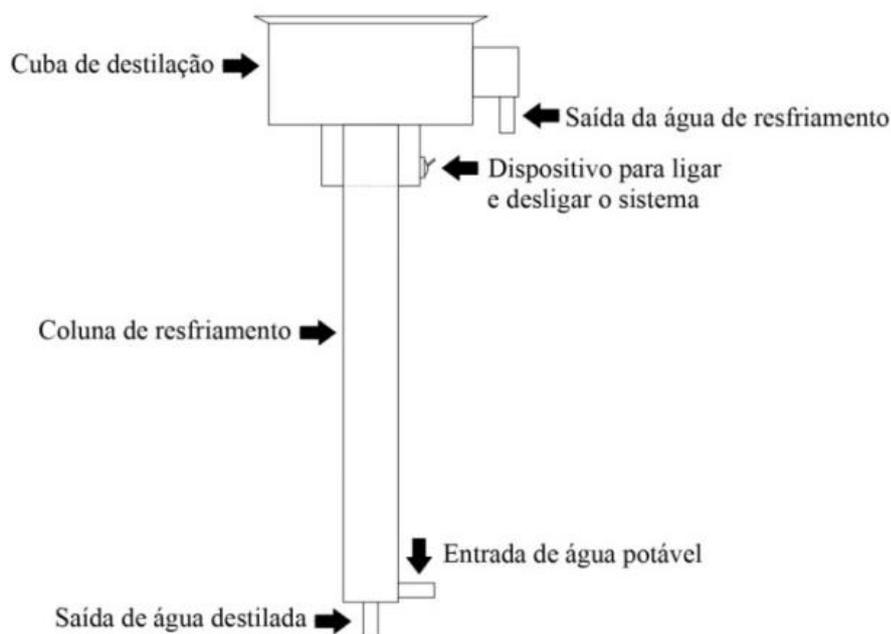
se manter um intervalo mensal para cada coleta, porém, devido a algumas impossibilidades, a coleta de dados foi interrompida por um intervalo maior entre a terceira e a quarta coleta. Foram analisados os parâmetros físico-químicos e microbiológicos descritos no Quadro 01.

Tendo em vista que ainda não existe na legislação vigente a padronização dos parâmetros de qualidade das águas de reúso para fins mais nobres e não potável de reúso interno, nesta pesquisa, foram considerados, para efeito comparativo dos resultados obtidos nas análises, os valores determinados na Portaria de

Consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017, a qual dispõe sobre a qualidade da água para consumo humano e seus padrões de potabilidade (BRASIL, 2017).

A Resolução COEMA nº 2, de 02 de fevereiro de 2017 (CEARÁ, 2017), apresenta padrões de reúso, porém, para fins urbanos, agrícolas, ambientais, industriais e aquicultura, com exigências na qualidade dos padrões inferiores aos exigidos pela citada Portaria, por se tratar de águas residuárias com maior teor de impurezas do que a estudada, tais como efluentes sanitários.

Figura 01: Desenho esquemático do destilador no modelo Pilsen



Fonte: Autores, 2019.

Figura 02: Destilador do LAQAM (a) e Destilador do LEAS (b), do modelo Pilsen



Fonte: Autores, 2019.

2.3 Ações realizadas

Durante esta pesquisa, buscou-se realizar ações em prol de mitigar o desperdício da água de resfriamento dos destiladores, através do armazenamento da mesma em caixas d'água para sua posterior reutilização na instituição, como na irrigação dos jardins e para os serviços

de limpeza em geral. Para isso, foram colocadas duas caixas de água com capacidades de 310 e 500 litros, do lado externo de cada laboratório, LAQAM e LEAS, respectivamente. A Figura 03 mostra a mangueira de descarte da água de resfriamento dos destiladores enchendo as caixas à medida que o processo de destilação ocorria.

Quadro 01: Parâmetros e metodologias utilizadas para realização das análises

Parâmetros	Métodos Analíticos
Temperatura °C ¹	Potenciométrico
pH ¹	Potenciométrico
Turbidez (UT) ¹	Turbidimétrico
Cor aparente (UC) ¹	Espectrofotométrico
Sólidos Totais Dissolvidos (mg.L ⁻¹) ¹	Gravimétrico - Secagem a 103°C – 105 °C
Condutividade Elétrica - CE (µS.cm ⁻¹) ¹	Conduvímétrico
Dureza Total (mgCaCO ₃ .L ⁻¹) ¹	Titulométrico - Complexação com EDTA
Cloretos (mg.L ⁻¹) ¹	Titulométrico
Sulfato (mg.L ⁻¹) ¹	Turbidimétrico
Ferro Total (mg.L ⁻¹) ¹	Espectrofotométrico – Fenantrolina
Amônia (mgN.L ⁻¹) ¹	Nesslerização Direta
Nitrito (mgN.L ⁻¹) ¹	Espectrofotométrico – NED
Nitrato (mgN.L ⁻¹) ²	Espectrofotométrico – Salicilato de sódio
Coliformes Totais(NMP 100 mL) ¹	Tubos Múltiplos/Colilert
<i>Escherichia coli</i> (NMP 100 mL) ¹	Tubos Múltiplos/Colilert

Fonte: Autores, 2019.

¹ APHA, AWWA e WEF(2012).

² SILVA e OLIVEIRA (2001).

Figura 03: Reúso da água de resfriamento dos destiladores do LAQAM (a) e LEAS (b)



Fonte: Autores, 2019.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise quantitativa

Devido à elevada demanda por água destilada nos laboratórios, em decorrência de

aulas práticas e projetos de pesquisas, são consumidos, em média, 20 litros de água destilada por dia em cada laboratório, sendo esta utilizada nos procedimentos analíticos e nas lavagens de vidrarias. Considera-se esse volume equivalente ao tempo de, aproximadamente, 3h

(destilador LEAS) e 6h (destilador LAQAM) por dia destilando, e produção de cerca de 573,7 e 635,5 L.dia⁻¹ de água de resfriamento em cada destilador, respectivamente. Esses dados indicam que sejam descartados, aproximadamente, 2.868 e 3.177 litros por semana e 11.474 e 12.710 litros de água de resfriamento por mês, respectivamente. A Tabela 01 mostra os valores obtidos nos testes de vazões dos dois destiladores.

Nos testes das vazões, foram observadas variações para cada destilador de acordo com sua capacidade e eficiência. Nos T20', T40' e T60', foram produzidos de 1,1 a 1,3 litros de água destilada no destilador do LAQAM, e variação de 2,02 a 2,69 litros de água destilada no destilador do LEAS. Considerando os resultados da vazão em L.h⁻¹, temos que, no destilador do LAQAM, a produção de 3,650 litros de água destilada gerou 105,927 litros de água de resfriamento, resultando em uma proporção de aproximadamente 1/29, ou seja para cada 1 litro de água destilada foram gerados 29 litros de água de resfriamento. No destilador do LEAS, a produção de 7,353 litros de água destilada gerou

191,24 litros de água de resfriamento, portanto, uma proporção de 1/26.

Diante dos resultados, o destilador do LEAS se mostrou mais eficiente em termos de desperdício de água, com economia de 3 litros de água de resfriamento por litro de água destilada, quando comparado ao destilador instalado no LAQAM. Em relação à eficiência dos destiladores, os testes de vazão apresentaram uma eficiência abaixo de 100% para ambos, sendo 73% no destilador do LAQAM e 73,5% no destilador do LEAS, indicando que, por algum motivo, como, por exemplo, a falta de manutenção, os destiladores não estão funcionando com sua capacidade máxima de destilação. No entanto, os destiladores instalados nos referidos laboratórios foram mais eficientes quando comparados aos obtidos por Appelt *et al.* (2008) e Medeiros, Storck e Volpatto (2017), os quais, avaliando os desperdícios de água de refrigeração de destiladores laboratoriais, nos modelos Pilsen, concluíram que os destiladores gastam, aproximadamente, de 32 a 37 litros de água de refrigeração para cada litro de água destilada.

Tabela 01: Teste de vazão da água destilada produzida e de descarte durante o processo

Tempos de medição	Destilador do LAQAM Teste em 22/04/2019		Destilador do LEAS Teste em 24/04/2019	
	Volume de água destilada (litros)	Volume de água de resfriamento descartada (litros)	Volume de água destilada (litros)	Volume de água de resfriamento descartada (litros)
T0'	0	0	0	0
Início da destilação	0	4,78	0	15,82
T20'	1,1	31,86	2,02	49
T40'	1,25	35	2,642	63,4
T60'	1,3	34,287	2,691	63,02
Vazão (L.h ⁻¹)	3,650	105,927	7,353	191,24
Eficiência do Destilador (%)	73		73,5	

Fonte: Autores, 2019.

3.2 Análise qualitativa

Silva *et al.* (2012) relatam, em pesquisa sobre o reúso de água de refrigeração de destiladores no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso, *Campus Cuiabá*, através de análises físico-químicas, que a água de resfriamento dos destiladores se

enquadra dentro dos padrões de qualidade de água para reúso, indicando que poderá ser reaproveitada para lavagem de vidrarias dos laboratórios. Pinto, Capri e Capri Neto (2015) apontam que as águas descartadas dos destiladores não sofrem nenhum tipo de contaminação e têm as mesmas características de potabilidade da água de alimentação,

podendo, também, ser utilizada para os mesmos fins. Da mesma forma, Rodon, Ribeiro Junior e Silva (2017) concluíram, em pesquisa com sistema de implantação de reúso de água residual de destiladores, que, apesar de essa água sofrer algumas alterações durante o processo de destilação, ela se enquadra nos parâmetros de água potável, podendo, assim, ser reutilizada para: limpeza de instrumentos, bancadas e equipamentos utilizados em ensaios; aplicação em ensaios que não necessitem de água destilada para sua execução e, também, para novas destilações.

Corroboram as afirmativas dos autores com os resultados obtidos neste estudo, no que diz respeito aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, aqui utilizados, das águas de resfriamento descartadas dos destiladores, bem como da água do poço que abastece a instituição, nesse caso, com exceção apenas da Temperatura, Dureza Total, Coliformes Totais e *Escherichia coli*, como mostram as Tabelas 02 e 03.

As temperaturas médias nas águas de resfriamento dos destiladores foram superiores a

50°C. A Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017), não padroniza uma faixa de temperatura para potabilidade, mas a Resolução COEMA nº 2, de 02 de fevereiro de 2017 (CEARÁ, 2017), determina para reúso águas com temperaturas inferiores a 40°C. No entanto, as águas em estudo são para uso não potável, então, a temperatura poderá ser reduzida antes de ser reutilizada. A Temperatura da água do poço se manteve em 28°C, o que já era esperado. Os resultados obtidos dos parâmetros físico-químicos mostraram que houve pouca variação nos valores das águas de resfriamento em comparação com a água de abastecimento.

No parâmetro Dureza Total, verificou-se, Tabela 04, valores médios das águas de resfriamento dos destiladores do LAQAM e do LEAS de 30,9 e 28 mgCaCO₃.L⁻¹, respectivamente, um aumento em comparação a água do poço que não foi detectado dureza, podendo ser atribuído aos sais retidos nas águas de resfriamento durante o processo de destilação. No entanto, esse aumento não altera a qualidade das águas, visto ser muito abaixo do padrão exigido para potabilidade.

Tabela 02: Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água de resfriamento descartada do destilador do LAQAM

Parâmetros	1 ^a Coleta	2 ^a coleta	3 ^a Coleta	4 ^a coleta	5 ^a coleta	média
Temperatura °C	49,8	57,3	47,4	49,8	44,5	49,76
pH	6,4	6,7	5,9	6,5	6,6	6,42
Turbidez (UT)	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09
Cor aparente (UC)	*<9,0	-	*<9,0	-	11,2	-
Sólidos Totais Dissolvidos (mg.L ⁻¹)	115,0	85,0	54,2	111,0	112,5	95,5
Condutividade Elétrica (µS.cm ⁻¹)	17,7	10,8	-	10,1	8,5	11,7
Dureza Total (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)	32,8	30,8	24,8	36,6	29,7	30,9
Cloretos (mg.L ⁻¹)	7,8	14,0	8,4	13,6	10,1	10,8
Sulfato (mg.L ⁻¹)	7,23	5,84	5,1	6,6	9,4	6,83
Ferro Total (mg.L ⁻¹)	0,01	0,04	-	0,06	0,06	0,04
Amônia Total (mgN.L ⁻¹)	0,01	0,0001	0,0001	0,0001	0,03	0,008
Nitrito (mgN.L ⁻¹)	0,025	0,041	0,041	0,009	0,007	0,02
Nitrato (mgN.L ⁻¹)	0,38	0,41	0,44	0,07	0,08	0,28
Coliformes Totais (NMP 100 mL)	16	<1	<1	9,1	93	-
<i>E. coli</i> (NMP 100 mL)	presença	ausência	ausência	presença	presença	-

Fonte: Autores, 2019.

*- Não determinado.

* O resultado <9,0 em Cor aparente representa um valor abaixo do Limite de detecção (LD), de acordo com o método utilizado.

*O resultado <1 em CT representa ausência no teste quantitativo.

Tabela 03: Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água de resfriamento descartada do destilador do LEAS

Parâmetros	1 ^a Coleta	2 ^a coleta	3 ^a Coleta	4 ^a coleta	5 ^a coleta	média
Temperatura °C	41,5	51,3	45,5	54	61,1	50,7
pH	6,4	6,33	6,36	6,49	6,54	6,4
Turbidez (UT)	0,03	0,05	0,1	0,1	0,1	0,08
Cor aparente (UC)	*<9,0	-	*<9,0	-	9	-
Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L ⁻¹)	118,3	90	104,2	115,5	112,8	108,2
Condutividade Elétrica (µS.cm ⁻¹)	13,97	10,03	-	8,22	7,87	10,0
Dureza Total (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)	33,77	31,79	22,85	23,8	27,72	28,0
Cloretos (mg.L ⁻¹)	7,83	16,82	6,54	10,08	11,59	10,6
Sulfato (mg.L ⁻¹)	6,79	5,83	4,95	8,52	9,25	7,1
Ferro Total (mg.L ⁻¹)	0,02	0,02	0,31	0,04	0,008	0,08
Amônia Total (mgN.L ⁻¹)	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,001
Nitrito (mgN.L ⁻¹)	0,025	0,041	0,041	0,009	0,007	0,02
Nitrato (mgN.L ⁻¹)	0,37	0,48	0,43	0,07	0,095	0,3
Coliformes Totais (NMP100mL)	14,6	<1	<1	<1	<1	-
E. coli (NMP 100 mL)	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	-

Fonte: Autores, 2019.

* - Não determinado.

* O resultado <9,0 em Cor aparente representa um valor abaixo do Limite de detecção (LD), de acordo com o método utilizado.

*O resultado <1 em CT representa ausência no teste quantitativo.

Os demais parâmetros físico-químicos estão dentro dos padrões de potabilidade, com resultados semelhantes, nas águas de resfriamento, aos obtidos na água do poço. A Tabela 04 mostra os resultados médios dos parâmetros físico-químicos das águas de resfriamento, os resultados microbiológicos, bem como os da coleta da água de abastecimento da instituição e os padrões de potabilidade para fazer o comparativo.

Com relação aos parâmetros microbiológicos, na água de resfriamento do destilador do LAQAM das cinco amostras analisadas, três apresentaram Coliformes Totais (CTT) e *Escherichia coli* (*E. coli*). A água de resfriamento do destilador do LEAS apresentou uma qualidade melhor do que a do LAQAM, pois em apenas uma amostra foi constatada a presença de CTT, e a *E. coli* esteve ausente em todas as amostras. Essa discrepância entre os resultados microbiológicos nos dois destiladores pode ser atribuída aos cuidados com manutenção dos destiladores, como a periodicidade de limpeza e manipulação, já que ambos são abastecidos com a mesma água.

Já a água do poço apresentou coliformes totais na ordem de 23 NMP/100 mL e ausência de *Escherichia coli*. Comparando-se esses resultados com a Portaria de Consolidação nº5/2017, para abastecimento humano, esse resultado não atende à referida Portaria, porém, ressalta-se que toda água para potabilidade deverá ser desinfetada. Dessa forma, a presença de CTT e *E. coli* pode ser atribuída à falta de desinfecção da água bruta que abastece a instituição, a alguma contaminação na rede de abastecimento ou, até mesmo, ao procedimento de coleta e análises, mesmo com todo cuidado técnico realizado.

3.3 Ações realizadas

A tentativa de armazenar a água de resfriamento dos destiladores em caixas d'água de 310 e 500 litros, do lado externo de cada laboratório, LAQAM e LEAS respectivamente, não se obteve êxito, visto que o trabalho de retirada da água das caixas ocorria de forma manual, o que dificultou o processo de coleta e reaproveitamento da mesma. A água da caixa

muitas vezes transbordava sem que a retirasse. Dessa forma, tendo em vista que, nos resultados obtidos dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, a qualidade da água de resfriamento dos destiladores mostrou-se semelhante à qualidade da água do poço que abastece a instituição, pensou-se como alternativa mais relevante o armazenamento simples, para o reúso da água dentro dos próprios laboratórios, sendo este o objetivo principal do trabalho em tela. Portanto, a água foi sendo armazenada em barrilete de 50 litros, localizado na bancada abaixo do destilador para

ser reutilizada na lavagem de vidrarias, como mostra a Figura 04. Esse reúso, a priori, foi realizado apenas no laboratório LEAS, sem muito sucesso, visto a baixa capacidade de armazenamento do barrilete, o qual rapidamente enchia, pois o volume de água de resfriamento produzido era maior e mais rápido do que o volume e o tempo de reutilização, acarretando em desperdício. Essa simples medida mostrou a necessidade de instalação de um sistema de reúso com capacidade suficiente de armazenamento de água ou de recirculação. A Figura 05 mostra o croqui do reúso.

Tabela 04: Comparativo dos valores médios obtidos dos parâmetros físico-químicos das águas de resfriamento com a água do poço, resultados microbiológicos e padrões de potabilidade

Parâmetros	Destilador LAQAM	Destilador LEAS	Água do poço	Portaria de Consolidação 005/2017
Temperatura °C	49,76	50,7	28,2	-
pH	6,42	6,4	5,93	6 - 9,5
Turbidez (UT)	0,09	0,08	0,1	1,0
Cor aparente (UC)	-	-	* <4,5	15,0
Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L ⁻¹)	95,5	180,2	83,7	1000
Condutividade Elétrica (µS.cm ⁻¹)	11,7	10,0	6,88	-
Dureza Total (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)	30,9	28,0	-	500
Cloretos (mg.L ⁻¹)	10,8	10,6	15,62	250
Sulfato (mg.L ⁻¹)	6,83	7,1	9,2	250
Ferro Total (mg.L ⁻¹)	0,04	0,1	0,11	0,3
Amônia Total (mgN.L ⁻¹)	0,008	0,0001	0,004	1,5
Nitrito (mgN.L ⁻¹)	0,02	0,02	0,007	1,0
Nitrato (mgN.L ⁻¹)	0,28	0,3	0,24	10,0
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	Presença em três amostras	Presença em uma amostra	23	Ausente em 100mL
<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	Presença em três amostras	Ausente	Ausente	Ausente em 100mL

Fonte: Autores, 2019.

* -Não determinado.

* O resultado <4,5 em Cor aparente representa um valor abaixo do Limite de detecção (LD), de acordo com o método utilizado.

Tendo em vista que a água que abastece a instituição é proveniente de poço profundo próprio, além da economia de água e preservação dos recursos hídricos, o que é notadamente esperado com a redução do desperdício, o reúso das águas de resfriamento dos destiladores proporcionará a redução da geração de esgoto no sistema de esgotamento

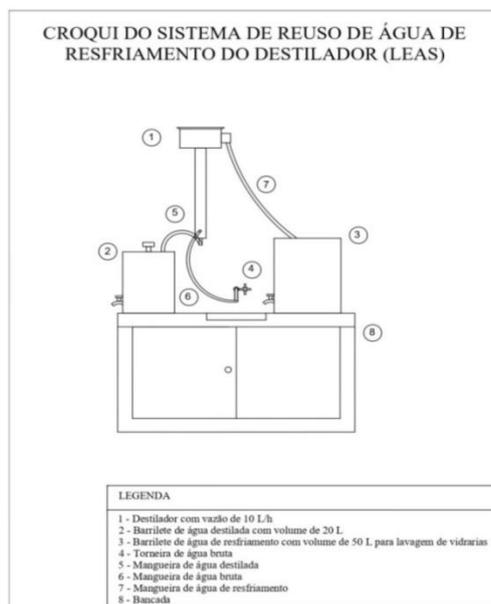
sanitário da instituição, o que contribuiria para diminuição da vazão e possíveis sobrecargas de esgoto na rede. Esses benefícios podem abranger todas as instituições que reutilizarem essas águas, dessa forma, o reúso deveria ser uma prática comum nos laboratórios, podendo ser pensado e projetado na fase de implantação e construção das instituições.

Figura 04: Sistema de reúso da água de resfriamento do destilador do LEAS



Fonte: Autores, 2019.

Figura 05: Croqui do sistema de Reúso da água de resfriamento do Destilador do LEAS.



Fonte: Autores, 2019.

3.4 Benefícios com a implantação do reúso da água dos destiladores

No entanto, assim como na instituição em estudo, a maioria das instituições de ensino não possui sistema de reúso nos laboratórios. Silva *et al.* (2012) desenvolveram um trabalho sobre a aceitabilidade da aplicação de reúso de água de

resfriamento dos destiladores dentro dos laboratórios de uma instituição de ensino, a partir de entrevistas, em que a maioria dos entrevistados cita que nunca ocorreu dentro da instituição alguma orientação ou programa que visasse à conscientização em relação à economia de água, e que a reutilização da água dentro dos laboratórios é um instrumento que fomenta a

conscientização dos alunos e servidores para atitudes mais sustentáveis.

Como exemplo de implantação de sistema de reúso, Assirati, Pereira e Nunes (2011) desenvolveram um sistema de refrigeração cíclico nos destiladores de uma instituição de ensino, concluindo que a montagem requer somente peças de baixo custo e de fácil obtenção, não necessitando de mão de obra especializada, e que as expectativas quanto à eliminação do descarte de água, tanto quanto à durabilidade do sistema e à produção de água destilada, foram plenamente atendidas.

Na mesma linha de raciocínio, Aguiar *et al.* (2018), em seu trabalho, propuseram um sistema de reaproveitamento da água descartada pelo destilador do laboratório de química da Pontifícia Universidade Católica, na unidade de Barreiro em Belo Horizonte. Em seus estudos, obtiveram resultados consideráveis, apesar de ser apenas uma proposta, como uma diminuição nos gastos e desperdícios de água, com isso gerando uma economia de R\$ 20,00 por semestre, uma vez que a água é destilada a cada semestre (AGUIAR *et al.*, 2018). É fundamental que práticas sustentáveis sejam cada vez mais implantadas e multiplicadas, seja em centros comerciais, cidades ou em centros de ensino, para que a demanda pelos recursos naturais diminua, com isso, garantindo uma disponibilidade para as futuras gerações.

4. CONCLUSÕES

Em meio a uma indisponibilidade de água potável cada vez maior no planeta Terra, é preciso tomar medidas mitigadoras para que esse cenário comece a mudar. Diante disto, medidas como o reúso de águas residuais é uma solução para se alcançar tal objetivo e, acima de tudo, a sustentabilidade ambiental. Diante deste cenário, o presente trabalho se mostrou promissor, ao incentivar a redução de custos da instituição com a captação de água do poço e por mitigar os impactos negativos do desperdício de água no meio ambiente. Dessa forma, com os dados obtidos, concluiu-se que:

- Os destiladores são grandes consumidores de água e, portanto, necessitam de um sistema de reúso para suas águas de resfriamento, em função de sua excelente qualidade;

- Diante da demanda por água destilada nos laboratórios da instituição e sob a eficiência dos destiladores nesta instalados, o *campus* desperdiça cerca de 24.000 litros de água de abastecimento por mês;
- A análise qualitativa mostrou que as águas que promovem a refrigeração dos destiladores têm qualidade satisfatória se comparada aos padrões de potabilidade. As características das mesmas pouco diferem da água que abastece a instituição, a qual é destinada para consumo humano e diversos usos, podendo a água de resfriamento ser reutilizada para fins não potáveis, como a lavagem de vidrarias de laboratório, além da recirculação no próprio destilador para produzir água destilada, bem como ser usada nas diversas modalidades de reúso descritas no capítulo 3 da Resolução COEMA nº 2, de 02 de fevereiro de 2017 (CEARÁ, 2017);
- O sistema de reúso atualmente utilizado no laboratório LEAS não atende totalmente à demanda por armazenamento de água de resfriamento que é produzida diariamente. O barrilete de 50 litros que foi instalado tem capacidade inferior ao volume de água que é gerado, sendo necessário montar um sistema com capacidade de armazenamento maior;
- A demanda por água potável nos processos de destilação, já comprovada neste e em outros trabalhos, confirma a necessidade do reúso de água de resfriamento nas instituições de ensino que usam destiladores. Por este motivo, sugere-se, para trabalhos futuros, um projeto de implantação de sistema de reúso para cada laboratório, LAQAM e LEAS, o qual possa atender aos usos não potáveis, porém mais nobres, como a recirculação nos próprios destiladores para a produção de água destilada ou na lavagem de vidrarias.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação e Bolsistas do Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária – LEAS e Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAM)

do IFCE *Campus Juazeiro do Norte*, pelo apoio na realização das análises físico-químicas e microbiológicas. Ao Prof. Rodrigo Lemos, pelo apoio no laboratório de química – LAQAM.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. B.; LOPES, C. P. L.; DIAS, E. T.; SILVA, D.; PEIXOTO, M. C. P. G. Reuso inteligente da água: técnica de reaproveitamento da água do destilador do laboratório de química da PUC MinasBarreiro. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 15, n. 1 p. 90-97, jan/jun. 2018.
- APPELT, P.; PARZIANELLO, J.; GUERRA, A. P.; RODRIGUES, M. B. Estimativa do desperdício de água de refrigeração de destiladores laboratorial. **Sysnergismus scyentifica UTFPR**, Pato Branco, v. 3, n. 4, 2008. Disponível em: <http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/302/106>. Acesso em: 22 abr. 2020.
- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AWWA – AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WEF – WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22 ed. Washington DC: APHA/AWWA/WEF, 2012.
- ASSIRATI, L.; PEREIRA, C. A.; NUNES, L. A. O. Sistema de refrigeração cíclico para utilização em destilador térmico. **Quím. Nova** [online], v. 34, n. 2, p. 344-345, 2011. ISSN 0100-4042. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v34n2/31.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2020.
- BRASIL. Conselho Nacional dos Recursos Hídricos. **Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 09 mar. 2006.
- BRASIL. **Lei nº 11.892, de 29 de dezembro de 2008**. Institui a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, cria os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 30 dez. 2008.
- BRASIL. Ministério da saúde. **Portaria de Consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília: Diário Oficial da União, 03 out. 2017.
- CEARÁ. Conselho Estadual de Meio Ambiente. **Resolução nº 02, de 02 de fevereiro de 2017**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 25 de novembro de 2002. Fortaleza: Diário Oficial do Estado, 21 fev. 2017.
- CEARÁ. **Lei nº 16.033, de 20 de junho de 2016**. Dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do estado do Ceará. Fortaleza: Diário Oficial do Estado, 22 jun. 2016.
- DIAS, P. H. A.; FERNANDES, T. B.; SILVA, T. M.; COSTA, M. D. Sistema simplificado de captação de águas de destiladores. In: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO IFSULDEMINAS, 8., 2016, Passos; SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 5., 2016, Passos. **Anais...** Passos-MG: IFSuldeMinas, 2016.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Juazeiro do Norte**. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/juazeiro-do-norte/panorama>. Acesso em: 09 ago.2019.
- MARISCO, L. V.; FERNANDES, V. C.; CAVAGNI, M. V.; FERNANDES, L. C.; FERNANDES, J. C. Reúso de efluentes provenientes de aparelhos destiladores. **Revista CIATEC – UPF**, Passo Fundo, v. 6, n. 1, p. 37-47, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5335/ciatec.v6i1.3488>. Acesso em: 23 abr. 2020. DOI: 10.5335/ciatec.v6i1.3488
- MEDEIROS, R. C.; STORCK, W. R.; VOLPATO, F. Gestão da água de descarte de destiladores de água em laboratórios de uma IES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 8., 2017, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande-MS: IBEAS, 2017.
- PINTO, A. C.; CAPRI, M. R.; CAPRI NETO, A. Gestão de água no laboratório: recuperação da água descartada dos destiladores. In: CONGRESSO INTERNACIONAL RESAG – Gestão da água e monitoramento ambiental, 2., 2015, Aracajú. **Anais...** Aracajú –SE: UNIT, 2015.
- RODRIGUES, J. O. N.; SILVA, T. C. da; ATHAYDE JÚNIOR, G. B. Análise quali-quantitativa da água condensada gerada por aparelhos de ar-condicionado. **Revista Gesta**, UFBA, v. 7, n. 2, p. 160-174, 2019. ISSN: 2317-563X. Disponível em: <https://portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/view/30779>. Acesso em: 24 abr. 2020.
- RONDON, H. A.; RIBEIRO JUNIOR, I.; SILVA, M.; R.; da. Implantação de um sistema de reúso da água residual do aparelho destilador para laboratório de solos do IFMT. In: ENCONTRO EM ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL – EEEA, 5., 2017, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá-MT: UFMT, 2017. Disponível

em

<http://eventosacademicos.ufmt.br/index.php/eeee/eeee2017/paper/view/5730>

Acesso em: 29 abr. 2020

SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. **Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias**. Campina Grande–PB: UFPB, 2001. 266p.

SILVA, M.; SILVA, K. S.; ANGELINI, L. P.; OLIVEIRA, A. P. Reúso da água de refrigeração de destiladores para lavagem de vidrarias em laboratório de ensino do IFMT Campus Cuiabá Bela Vista. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 3., 2012, Goiânia. **Anais...** Goiânia–GO: IBEAS, 2012.

SOUZA, M. C. de.; VARGAS, A.; SAUERESSIG, G.; LUCHESE, J.; BAUER, J. M.; VIEGAS, C. V. V. Análise das práticas de reúso de água residual: estudo de casos em lavanderias industriais. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, UFMS, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 497-496, jan./abr. 2016. ISSN: 22361170, DOI: 105902/2236117019330. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/19330/pdf>. Acesso em 28 abr.2020.