

**AVALIAÇÃO DA DESTILAÇÃO SOLAR
DIRETA COMO FORMA DE
TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO PARA
EFLUENTES DE RADIOGRAFIAS
ODONTOLÓGICAS**

Maruan Karím Alemsan

Orientador: Prof. Dr. Maurício Luiz Sens

2016/1



Maruan Karím Alemsan

**AVALIAÇÃO DA DESTILAÇÃO SOLAR DIRETA
COMO FORMA DE TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO PARA
EFLUENTES DE RADIOGRAFIAS ODONTOLÓGICAS**

Trabalho apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina para a Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Luiz Sens

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Alemsan, Maruan Karím

AVALIAÇÃO DA DESTILAÇÃO SOLAR DIRETA COMO FORMA DE
TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO PARA EFLUENTES DE RADIOGRAFIAS
ODONTOLÓGICAS / Maruan Karím Alemsan ; orientador, Maurício
Luiz Sens - Florianópolis, SC, 2016.

56 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Tratamento de
Efluentes Radiográficos Odontológicos. 3. Destilação Solar
Direta. 4. Prata. I. Sens, Maurício Luiz. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental. III. Título.

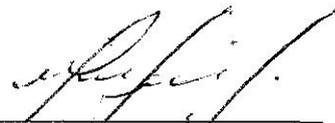
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DA DESTILAÇÃO SOLAR DIRETA COMO
FORMA DE TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO PARA EFLUEN-
TES DE RADIOGRAFIAS ODONTOLÓGICAS

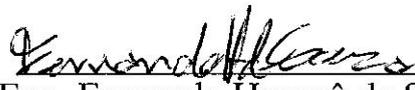
MARUAN KARÍM ALEMSAN

Trabalho submetido à Banca
Examinadora como parte dos requisitos
para Conclusão do Curso de graduação
em Engenharia Sanitária e Ambiental.

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Maurício Luiz Sens
(Orientador)



M. Eng. Fernando Hymnô de Souza
(Membro da Banca)



M. Eng. Tiago Lemos Guedes
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS/SC
JULHO/2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Maurício Luiz Sens pela orientação e pela ajuda recebida durante a realização do projeto.

Agradeço aos membros da banca Fernando Hymnô de Souza e Tiago Lemos Guedes por aceitarem o convite e ajudarem nas correções finais.

Agradeço ao pessoal do LAPOÁ por tirar minhas dúvidas e ajudar com os equipamentos de laboratório.

Agradeço ao João Renato de Mendonça Strelau pela disposição, paciência e ajuda com as análises de prata e com a utilização do espectrômetro de absorção atômica.

Agradeço aos professores que tive durante a faculdade pelos ensinamentos e caminhos a serem percorridos.

Agradeço à Paula Bertolini de Paiva pela ajuda e apoio.

Agradeço aos meus pais Karím Afif Alemsan e Marise Martello Alemsan por darem condições para que eu chegasse até aqui.

Agradeço a todas as pessoas que ajudaram direta/indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

Os efluentes radiográficos odontológicos são gerados quando é produzida a imagem por fotografia através do raio-X. Há duas etapas principais para a formação da imagem, a primeira é a revelação e a segunda é fixação. Estes efluentes têm por característica a presença de prata. Para o tratamento destes efluentes geralmente são utilizados produtos químicos. Porém, este experimento tem por finalidade testar uma tecnologia que não utiliza reações químicas, os destiladores solares. Os destiladores solares são estruturas que simulam o ciclo da água, evaporando e condensando o efluente. Ao evaporar, a parte sólida é separada fisicamente da parte líquida. Portanto, ao realizar este experimento, se avaliou o quão eficiente foi esta separação e se o efluente condensado teve condições de ser lançado em corpos d'água utilizando parâmetros da legislação vigente: pH, prata e fenóis totais. Deste modo o objetivo principal foi avaliar a destilação solar direta como forma de tratamento físico-químico de efluentes de radiografias odontológicas. Este experimento tratou com 100% de eficiência a prata. Também teve remoção maior do que 99,79% para o fenol e o pH ficou entre os padrões estabelecidos para o lançamento em corpos d'água.

Palavras-chave: *Tratamento de Efluentes Radiográficos Odontológicos; Destilação Solar Direta; Prata.*

ABSTRACT

Dental radiographic effluents are generated when the image is produced by photography through the X-ray. There are two main steps for the formation of the image, the first is the revelation and the second is setting. These effluents are by nature the presence of silver. For the treatment of these effluents are commonly used chemicals. However, this experiment is intended to test a technology that does not use chemical reactions, solar stills. Solar stills are structures that simulate the water cycle, evaporating and condensing the effluent. Upon evaporation, the solid part is physically separated from the liquid part. Therefore, when performing this experiment, we assessed how effective was this separation and condensate effluent was able to be released into bodies of water using parameters of the current legislation: pH, silver and total phenols. Thus the main objective was to evaluate the direct solar distillation as a means of physical-chemical treatment of dental radiographs effluents. This experiment was treated with 100% silver efficiency. Also had higher removal than 99.79% for phenol and the pH was between the standards set for release in water bodies.

Keywords: *Effluent Treatment of Dental Radiographic; Solar Still; Silver.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Camadas de um filme radiográfico. Fonte: dicasradiologia.blogspot.com.br.....	5
Figura 2 – Cristais de halogenados de Prata em dois filmes radiográficos diferentes. Fonte: WHITE; PHAROAH, 2004	5
Figura 3 – Processo manual de revelação e fixação de radiografia. Fonte: ANDREUCCI, 2005.....	6
Figura 4 – Fórmula Estrutural de um Fenol Simples. Fonte: Barlow e Johnson (2007)	13
Figura 5 – Destilador Solar. Fonte: SÍTIO SOLAR, 2011 apud SILVA, 2011..	16
Figura 6 – Diferentes tipos de concepção de destiladores. Fonte: YADAV; KUMAR, 2016	17
Figura 7 – Destilador Solar 1. Fonte: Do autor.....	20
Figura 8 – Destilador Solar 2. Fonte: Do autor.....	20
Figura 9 – Reforma e limpeza da pirâmide 1. Fonte: Do autor.....	21
Figura 10 Efluente a ser tratado na bandeja. Fonte: Do autor.....	21
Figura 11 Efluente tratado contaminado. Fonte: Do autor.....	22
Figura 12 Água com corante para teste de vazamento. Fonte: Do autor.....	22
Figura 13 Recipientes de alumínio com o efluente a ser tratado. Fonte: Do autor.	23
Figura 14 Gotículas condensadas na superfície interna da pirâmide maior. Fonte: Do autor.....	23
Figura 15 Efluente destilado pela pirâmide maior. Fonte: Do autor	23
Figura 16 Pirâmide 2 com recipientes com o efluente a ser tratado. Fonte: Do autor.....	24
Figura 17 Pirâmide 1 e 2 (comparação de dimensões). Fonte: Do autor	24
Figura 18 Gotículas condensadas na superfície interna da pirâmide 2. Fonte: Do autor.....	24
Figura 19 Efluente destilado pela pirâmide 2. Fonte: Do autor.	25
Figura 20 Béqueres de Teflon na chapa de aquecimento dentro da estufa. Fonte: Do autor.	26
Figura 21 Análise das amostras no espectrômetro de absorção atômica. Fonte: Do autor.....	26
Figura 22 Amostras enviadas para análise de prata. Fonte: Do autor.	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites máximos de prata em efluentes para lançamento em corpos de água de alguns países.....	8
Tabela 2 – Características físico-químicas dos efluentes de radiografias odontológicas.....	8
Tabela 3 – Padrões para Lançamento de Efluentes.....	10
Tabela 4 – Vantagens e Desvantagens de alguns métodos de recuperação de prata.	12
Tabela 5 – Parâmetros a serem analisados.....	19
Tabela 6 – Resultados das análises de pH, Fenóis Totais e Prata Total.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
cm³ – Centímetros cúbicos
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO – Demanda Biológica de Oxigênio
DQO- Demanda Química de Oxigênio
g – Grama
L – Litro
LIMA – Laboratório Integrado de Meio Ambiente
mg – Miligrama
NBR – Norma Brasileira
°C – Grau Celsius
pH – Potencial Hidrogeniônico
PPB – Partes por Bilhão
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	Introdução e Justificativa	1
2	Objetivos	3
2.1	Objetivo Geral	3
2.2	Objetivos Específicos	3
3	Revisão Bibliográfica	4
3.1	Filmes radiográficos/processamento da imagem	4
3.2	Características físico-químicas dos efluentes de radiografias odontológicas	8
3.3	Classificação dos resíduos	10
3.3.1	Prata	11
3.3.2	Fenol	12
3.4	Formas de tratamento de efluentes radiográficos	13
3.5	Destilação solar	14
4	Metodologia	19
5	Resultados e Discussões	28
5.1	Pontos positivos e negativos da destilação solar como forma de tratamento de efluente de radiografia odontológica	28
6	Conclusões e considerações finais	30
7	Referências Bibliográficas	31
8	ANEXOS	37

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Os resíduos oriundos do processo de radiografia de consultórios odontológicos podem produzir danos ambientais caso sejam dispostos de forma incorreta no meio ambiente. É importante salientar que o efluente proveniente do processamento das radiografias contém prata, elemento tóxico ao meio ambiente e ao ser humano (BOHNER et al., 2011). Além do mais, estes resíduos contêm alto teor de fenóis totais (BORBOLETTTO, 2005). São efluentes altamente tóxicos, com alta mortalidade dos indicadores *Daphnia magna* e *Allium cepa* (TOPANOTTI, 2010). Estes resíduos são classificados no Grupo B, que dispõe que os efluentes do processamento das radiografias podem apresentar riscos à saúde pública ou ao meio ambiente, com alto potencial de toxicidade, sendo que podem ser dispostos na rede de esgotos ou em corpos d'água desde que atendam aos padrões de lançamento. (CONAMA, 2005). Pouco se tem feito em relação aos efluentes gerados de serviços de radiodiagnóstico em hospitais e clínicas para controlar o impacto ambiental causado pelos mesmos (FERNANDES, 2005). Os tratamentos de efluentes radiográficos, além de serem escassos, quando existem são apenas mecanismos de separação de prata, sem controle ou até mesmo mal projetados, gerando um efluente fora dos padrões de lançamento. Além do mais, os efluentes são lançados sem tratamento na rede de esgoto, mesmo apresentando parâmetros inadequados em relação à legislação vigente. Segundo estudo de Fernandes (2005) foi constatado que um hospital, mesmo após processo de tratamento do efluente, o nível de prata mínimo era de 500 mg/L, sendo que o Conama (2011) determina um valor máximo de 0,1 mg/L, ou seja 5 mil vezes maior do que previsto em lei (FERNANDES, 2005; GRIGOLETTO et al., 2011).

Assim, tendo em vista o cenário atual do tratamento de efluentes radiográficos odontológicos do Brasil, este trabalho tem por objetivo avaliar uma nova tecnologia para o tratamento dos mesmos. O tratamento por destilação solar direta além de não utilizar produtos químicos, utiliza energia solar, energia sem custo e renovável.

Os destiladores solares são estruturas que simulam o ciclo da água, evaporando e condensando o efluente. Geralmente são utilizados para tratamento de água, mas também podem ser utilizados para tratar efluentes industriais. Seu funcionamento parte do princípio de que quando os raios solares entram no dispositivo, aquecem o efluente a ser tratado, o mesmo evapora e em seguida é condensado. Ao evaporar, a parte sólida é separada fisicamente da parte líquida. Portanto, ao realizar este experi-

mento, se avaliou o quão eficiente foi esta separação e se o efluente condensado teve condições de ser lançado em corpos d'água utilizando os parâmetros que estão acima do permitido, comparando a caracterização dos efluentes realizada por Borboletto (2005) com a resolução CONAMA N°430/2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Portanto, parâmetros adotados foram pH, prata e fenóis totais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a destilação solar direta como forma de tratamento físico-químico de efluentes de radiografias odontológicas

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Separar sais de prata do efluente radiográfico odontológico por destilação solar direta;
- Analisar a eficiência do tratamento de efluentes de radiografias odontológicas por destilação solar direta para disposição em corpos d'água.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 FILMES RADIOGRÁFICOS/PROCESSAMENTO DA IMAGEM

Desde a descoberta dos raios-X por W. C. Roentgen, em 1895, as imagens médicas têm contribuído significativamente para o progresso da medicina (DOI, 2006). Os raios-X provocam ionização em chapas fotográficas. Os comprimentos de onda dos raios-X utilizados na Odontologia para exames radiológicos variam entre 1,0 e 0,5 Angstrom (FREITAS; ROSA, SOUZA, 1984).

Durante a radiografia, os raios X passam pelos arcos dentários, reduzindo a intensidade por absorção e espalhamento. Onde há estrutura óssea a intensidade do feixe de elétrons é reduzida consideravelmente, e onde não há ossos os raios passam sem serem atenuados. Assim, é possível analisar a estrutura óssea através de um receptor de imagens, no qual registra estes feixes de elétrons em intensidade diferente, formando a imagem radiográfica (WHITE; PHAROAH, 2004).

Os filmes radiográficos se originaram juntamente com a descoberta dos raios-X, tendo estreita ligação com o desenvolvimento das imagens fotográficas (FERREIRA, 2007). A comercialização dos primeiros filmes radiográficos dentários foi feita pela empresa Kodak, em 1913. O filme de raio X é um material onde a imagem radiográfica é fixada, depois de ser submetido à radiação X. Consiste em uma base de poliéster envolvida com gelatina e sais halogenados de prata (FREITAS; ROSA, SOUZA, 1984).

As placas radiográficas possuem uma camada protetora de gelatina com a finalidade de proteger contra impactos mecânicos a emulsão. Já a emulsão é formada de cristais halogenados de prata. Logo abaixo uma camada adesiva une a emulsão com a camada base, que dá a rigidez à placa. A figura 1 mostra em detalhe transversal as camadas de um filme radiográfico e a figura 2 os cristais halogenados de prata vistos por microscopia eletrônica.

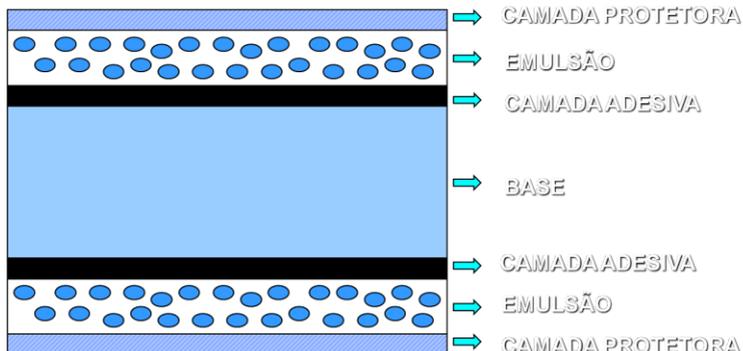


Figura 1 – Camadas de um filme radiográfico. Fonte: dicasradiologia.blogspot.com.br

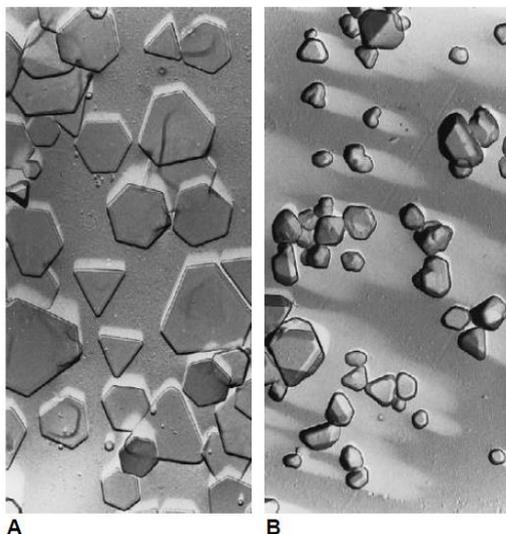


Figura 2 – Cristais de halogenados de Prata em dois filmes radiográficos diferentes. Fonte: WHITE; PHAROAH, 2004

A prata contida no filme após ser submetida à radiação, reage com o revelador. O revelador reduz o haleto de prata, transformando-o em prata metálica escura, ou seja, onde a placa recebeu a radiação ficou escura e onde não recebeu (raios que não passaram pela estrutura óssea) fica de tonalidade clara.

Para processar as imagens dos filmes radiográficos são necessárias algumas etapas que devem ser seguidas rigorosamente para a correta formação da imagem e para que o profissional de saúde tenha uma radiografia de qualidade para auxiliar no diagnóstico do paciente. Primeiramente o filme é imerso na solução reveladora. Em seguida, agita-se, deixa escorrer o residual da revelação e lava-se em água. Posteriormente a placa é mergulhada na solução fixadora. Após a fixação a placa é lavada novamente e posta a secar. (PISTÓIA et al., 2004) A figura 3 apresenta estas etapas.



Figura 3 – Processo manual de revelação e fixação de radiografia.
Fonte: ANDREUCCI, 2005

O revelador age nos sais de prata metálica que foram sensibilizados à radiação X. O mesmo tem a função de converter a imagem invisível do filme, em imagem visível. Os reveladores são substâncias com potencial redutor, que reduzem a prata metálica (FREITAS; ROSA, SOUZA, 1984).

A revelação dos filmes radiográficos é feita através de um processo antigo, ainda utilizado nos serviços de saúde. Ao penetrar os raios-X, os sais de prata reduzem de Ag^+ para Ag^0 . Esta etapa é chamada de revelação. (FERNANDES, 2005).

A revelação transforma uma imagem latente invisível em imagem de prata metálica visível escurecida. Geralmente são utilizados dois agentes reveladores, a fenidona e a hidroquinona. A fenidona (1-fenilpirazolidona) age como doador de elétrons, convertendo os íons de prata

em prata metálica da imagem latente, ou seja, a fenidona é oxidada e a prata é reduzida. Já a hidroquinona doa um elétron, reduzindo a fenidona que foi oxidada, fazendo com que a mesma volte a reduzir os cristais halogenados de prata em prata metálica. Somente os cristais que foram expostos à radiação X são reduzidos (WHITE; PHAROAH, 2004).

Desta forma, para este processo de redução da prata exposta à radiação, é necessário manter um pH básico, em torno de 10. Estes compostos são denominados ativadores e geralmente são utilizados hidróxidos de potássio ou de sódio juntamente com bicarbonato de sódio, para o devido tamponamento. Além do mais, estes ativadores fazem com que a gelatina aumente de tamanho, absorvendo o revelador, alcançando os cristais de prata mais profundos (WHITE; PHAROAH, 2004).

Outro componente do revelador é o preservativo, que tem como função aumentar a vida útil do revelador impedindo a sua oxidação. O agente antioxidante mais utilizado é o sulfito de sódio. Também é utilizado o brometo de potássio e o benzotriazol para que a prata não exposta não reduza. Estes dois restringentes agem na prata exposta e na prata não exposta, mas com mais intensidade nos cristais que não foram submetidos à radiação, ou seja, os restringentes agem aumentando o contraste da imagem (WHITE; PHAROAH, 2004).

Antes da etapa de fixação é realizada uma lavagem em água com agitação, removendo o ativador para impedir a neutralização do ácido do fixador (WHITE; PHAROAH, 2004).

A etapa de fixação tem a função de remover os sais de prata que não foram afetados pela radiação (FERNANDES, 2005). Outra função é endurecer a gelatina e fazer com que o filme seque rapidamente. O componente principal do fixador é solvente da prata, para remover os sais de prata não revelados. Geralmente se utiliza o hipossulfito de sódio (FREITAS; ROSA, SOUZA, 1984).

Segundo Bortoletto et al., (2007) o efluente gerado pela etapa de fixação e enxágue para a revelação da radiografia contém prata na forma de complexo negativo de tiosulfato de prata ou seja, efluente extremamente tóxico.

O fixador é basicamente formado de 4 componentes diluídos em água: agente clareador, acidificador, preservativo e endurecedor. O agente clareador tem a função de dissolver e remover os cristais de prata que não receberam a radiação, clareando a placa radiográfica. Geralmente se utiliza tiosulfato de amônio, que forma compostos hidrossolúveis com a prata. É importante salientar que caso a fixação exceda o tempo recomendado, pode-se perder a densidade do filme. Outro componente do fixador é um acidificador, que consiste em um sistema tampão de ácido

acético, tendo pH em torno de 4,25. A solução acida tem duas funções principais, a primeira é melhorar a eficiência do tiosulfato de amônio, a segunda é bloquear a ação reveladora residual, que funciona melhor em pH alcalino. Assim como o revelador, o fixador também possui preservativo. O preservativo utilizado é o sulfito de amônio, prevenindo a oxidação do tiosulfato de amônio e previne manchas removendo algum possível resíduo da revelação. Outro componente do fixador é um agente endurecedor. Geralmente se utiliza o sulfato de alumínio, que adere à gelatina, prevenindo danos e reduzindo a expansão da mesma durante a lavagem final, diminuindo o tempo de secagem. Em seguida à etapa de fixação, deve-se realizar lavagem da placa radiográfica em água corrente, removendo os íons tiosulfato e seus complexos. A lavagem deve ser realizada corretamente para impedir a descoloração e manchas, ocultando informações importantes para o diagnóstico do paciente. (WHITE; PHAROAH, 2004)

3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS EFLUENTES DE RADIOGRAFIAS ONDONTOLÓGICAS

O limite máximo para lançamento de efluentes no Brasil em corpos de água com relação à prata é de 0,1 mg/L Prata (CONAMA, 2005). O padrão de lançamento de efluentes para alguns países estão representados na tabela 1. (UGANDA, 1999), (GREECE, 2010), (CROATIA, 2009), (COLOMBIA, 1984),

Tabela 1 – Limites máximos de prata em efluentes para lançamento em corpos de água de alguns países

País	Brasil	Grécia	Croácia	Colômbia	Uganda
Limite de Prata para lançamento	0,1 mg/L	0,1 mg/L	0,1 mg/L	0,5 mg/L	0,5 mg/L

As características dos efluentes radiográficos são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Características físico-químicas dos efluentes de radiografias odontológicas

Parâmetros	Revelador	Fixador	Água Residual	Limites para lançamento corpos d'água
pH	10,0-12,0	4,8	7,3-8,2	5-9
Cor (Ptco)	387	22	3-232	-
Turbidez	46	5	Não Medido	-
DQO(mg O₂/L)	~70.000	~100.000	16,9-584,5	-
Fenóis Totais (mg/L)	~14.000	~20.900	0-81,9	0,5
Sulfatos (mg/L)	~11.000	~13.000	20,7-56,8	-
Prata (mg/L)	2,0	923-1.755	0-11,0	0,1
Alumínio (mg/L)	0	643,5	0-1,8	-
Sódio (mg/L)	12.466	4.232	5,2-38,6	-
Potássio (mg/L)	22.008	816,2	2,4-47,5	-
Cálcio (mg/L)	69,6	100,1	18,0-23,6	-
Magnésio (mg/L)	0,4	0,8	2,5-5,0	-
Ferro (mg/L)	3,0	4,5	0	15
Manganês (mg/L)	0,2	0,2	0	1
Zinco (mg/L)	0,2	0,4	0	5
Cobre (mg/L)	0,4	0,2	0,1	1
Cobalto (mg/L)	0,5	0,5	0-0,1	-
Cádmio (mg/L)	0	0	0	0,2
Níquel (mg/L)	0,7	1,4	0	2

Parâmetros	Revelador	Fixador	Água Residual	Limites para lançamento corpos d'água
Cromo (mg/L)	0,1	0,1	0	0,1 Cr ⁺⁶ 1,0 Cr ⁺³

Fonte – BORBOLETTO, (2005).

Tendo por base as características do efluentes dispostas na tabela 3 e levando em conta a Resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, os padrões que passaram os limites foram pH, fenóis totais e prata (Tabela 4). Os outros parâmetros ou não constam na legislação ou são inferiores aos padrões de lançamento, portanto foram selecionados apenas estes 3 parâmetros para análise. Os limites de pH, fenóis totais e prata estão apresentados na tabela 4. O parâmetro DBO foi descartado pois os efluentes radiográficos são resistentes à degradação biológica. (ACEITUNO et al apud GRIGOLETTO, 2010) Apesar de apresentar elevada DQO, a mesma não foi analisada devido não estar explicitada nos padrões de lançamento em corpos d'água.

Tabela 3 – Padrões para Lançamento de Efluentes

Parâmetros	Valores Limites
pH	5 – 9
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C ₆ H ₅ OH
Prata total	0,1 mg/L Ag

Fonte – CONAMA, (2011)

3.3 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

Conforme a Resolução CONAMA Nº 358/05, Anexo 1, item II, letra c), os efluentes gerados no processamento de radiografias odontológicas (reveladores e fixadores) são classificados no Grupo B. Segundo a resolução, estes resíduos podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade. Além disso, os resíduos do grupo B quando não forem submetidos a processo de reutilização, recuperação ou reciclagem devem ser submetidos a tratamento e disposição final específicos. É importante salientar que o parágrafo 3 do artigo 21 dispõe

que os resíduos no estado líquido não devem ser encaminhados para a disposição final em aterros.

Já no artigo 22, parágrafo 1 dispõe que os resíduos do Grupo B, podem ser dispostos em aterro sanitário desde que estejam em estado sólido. Além disso, o parágrafo 2, do respectivo artigo mostra que os resíduos no estado líquido do Grupo B podem ser dispostos em corpo receptor ou rede pública de esgoto desde que atendam os padrões de lançamento da legislação vigente.

3.3.1 Prata

A prata apresenta boas propriedades de maleabilidade, ductilidade, condutividade elétrica e térmica, fotossensibilidade além de apresentar função antimicrobiana. Portanto, é um elemento útil em diversas áreas (PETHKAR; PAKNIKAR, 2003). No meio ambiente atua como um inibidor enzimático, afetando os processos metabólicos dos seres vivos (BORTOLETTO ET AL., 2007). Além disso, é amplamente utilizada na indústria da fotografia e imagem, como também em aplicações eletrônicas (PURCELL, PETERS; 1998). É um metal branco, brilhante, dúctil que ocorre naturalmente na forma pura e em minérios. Alguns compostos de prata são fotossensíveis. A prata metálica é insolúvel em água, já os sais de prata são solúveis. (HOWE; DOBSON, 2002)

A prata pode penetrar no corpo através da boca, garganta ou trato digestivo após a ingestão de alimentos ou água que contenham prata. Também pode haver contaminação pela inspiração, sendo absorvida pelos pulmões. Além do mais, este metal tem a capacidade de penetrar pelo tecido epitelial caso haja contato com soluções que contenham prata, como os efluentes oriundos do processamento das radiografias odontológicas. A “Argiria” é a condição médica causada pela absorção sistêmica e prolongada da prata, deixando a pele em tom azulado escuro ou cinza. (ATSDR, 1990)

Efluentes de radiografias podem atuar como potenciais matérias prima para a obtenção de prata. (AKTAS; MORCALI, YUCEL, 2010). Existem várias formas de se realizar a recuperação da prata (GOSHIMA; HORI, YAMAMOTO, 1994). A tabela 4 mostra os métodos de recuperação de prata apresentados por Goshima; Hori, Yamamoto, (1994). e por Masebinu, Muzenda, (2014).

Tabela 4 – Vantagens e Desvantagens de alguns métodos de recuperação de prata.

Método	Eficiência de Recuperação	Vantagens	Desvantagens
Substituição Metálica	>95%	Baixo custo de investimento, operação e manutenção Alta relativa eficiência de recuperação	Efluente com alta concentração de ferro Prata recuperada em forma de lodo
Recuperação Eletrolítica	>90%	Prata recuperada em 98% pura Alta taxa de recuperação O cátodo pode ser limpo após o uso Não produz novos poluentes	Possibilidade de formação de sulfetos Alto custo do equipamento Requer energia elétrica
Precipitação	>99%	Pode precipitar até 0,1mg/L Baixo custo de investimento Fácil monitoramento	Operação Complexa Prata recuperada em forma de lodo Solução tratada não pode ser utilizada Pode formar sulfeto de hidrogênio

Fonte - Goshima; Hori, Yamamoto, (1994). Masebinu, Muzenda, (2014).

3.3.2 Fenol

O fenol possui fórmula química C_6H_6O , com o grupamento OH ligado diretamente a um anel aromático (Figura 4). Os fenóis são higroscópicos, sólidos a temperatura ambiente com odor característico e ácido. Possui peso molecular de 94,11, com densidade de $1,072 \text{ g/cm}^3$ e ponto de ebulição de $181,9^\circ\text{C}$. (NAIR; JAYACHANDRAN; SHASHIDHAR, 2008)

São substâncias tóxicas, geralmente utilizados em resinas fenólicas, corantes, plásticos, purificadores de ar, removedores de tintas, entre outros usos. São lançados na natureza em coquerias, refinarias de petróleo, fábricas de medicamentos, indústria de corantes, etc. (NIRJA; AJAI; PRACHI, 2012) Os fenóis possuem alta volatilidade e solubilidade em água, alterando o odor e aroma em águas potáveis, mesmo em concentrações na ordem de 1 PPB. (SOUZA, 2009) Os fenóis podem produzir enjoos, diarreia, ataque apoplético, colapso cardiovascular, edema pulmonar e até envenenamento fatal. Também é nocivo aos organismos aquáticos. (FISPQ, 2007)

O fenol é amplamente utilizado em procedimento de beleza. O peeling é um método que acelera a esfoliação cutânea, renovando as células. O fenol coagula as proteínas da pele, produzindo rejuvenescimento facial. Quando é aplicado na pele, o mesmo provoca queimadura química. A pele que foi danificada pela ação do fenol é regenerada em até 10 dias, dando aspecto de jovialidade. (VELASCO et al., 2004)

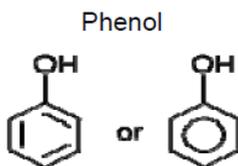


Figura 4 – Fórmula Estrutural de um Fenol Simples. Fonte: Barlow e Johnson (2007)

3.4 FORMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES RADIOGRÁFICOS

Quantidades significativas de prata são desperdiçadas em efluentes de diversas áreas, principalmente oriundos de processos radiográficos. As principais tecnologias atualmente usadas para a remoção de prata do efluente são precipitação, eletrólise, solvente, resinas, agentes quelantes, entre outros (PETHKAR; PAKNIKAR, 2003).

De acordo com White e Pharoah (2004) a prata pode ser removida pelo método da substituição ou da eletroalvanização. Na substituição metálica o ferro fica na solução e a prata é precipitada em aspecto de lodo. Já na eletroalvanização, há dois eletrodos com corrente elétrica, no qual a prata fica aderida no cátodo. Além disso a prata pode ser aproveitada economicamente vendendo-a após a separação.

A ideia central proposta por Bortoletto et al. (2007) foi estudar a remoção de prata contida no fixador utilizando a técnica de precipitação

com vários agentes precipitantes. O estudo mostrou grande eficiência de precipitação da prata utilizando H_2O_2 como agente precipitante. O peróxido de hidrogênio precipitou cerca de 84% da prata. Outro experimento realizado por Igarashi, L. et al. (2006) verificou que, no processo de remoção de prata por adsorção, o carvão ativado de coco de babaçu teve maior eficiência em relação às zeólitas, com remoção de 0,42 mg de prata por grama de carvão ativado.

Do mesmo modo, a precipitação teve como eficiência mais de 99,99% quando se utilizou hidróxido de sódio como agente precipitante (AKTAS; MORCALI, YUCEL, 2010).

Outro experimento realizado Pethkar; Paknikar, 2003 utilizou bactérias quimiossintetizantes e fungos para a biodegradação do tiosulfato de prata pela bioabsorção. Tendo eficiência final de 70% de remoção da prata.

O estudo publicado por Tao et. al, 2012 avaliou a remoção e recuperação de prata através dos reatores bioelectrochemical. Os reatores do tipo Bioelectrochemical utilizam microrganismos para catalisar reação de oxidação e redução. Neste experimento, utilizou no ânodo, doadores de elétrons (como acetatos), no qual foram oxidados para gás carbônico e íons. No cátodo, halogênios de prata é reduzido para forma de prata metálica e depositada no cátodo. A fonte de halogênios de prata pode ser provenientes de efluentes de revelação de fotografias. O estudo concluiu que o bioelectrochemical removeu 95% de halogênios de prata em 36 horas.

Do mesmo modo, Polat e Erdogan, (2007) conduziu um estudo de remoção de metais pesados por flotação iônica. Foram analisados metais como o cobre, zinco, cromo e a prata. O experimento mostrou que, nas melhores condições de pH, a remoção dos metais foi de 90%.

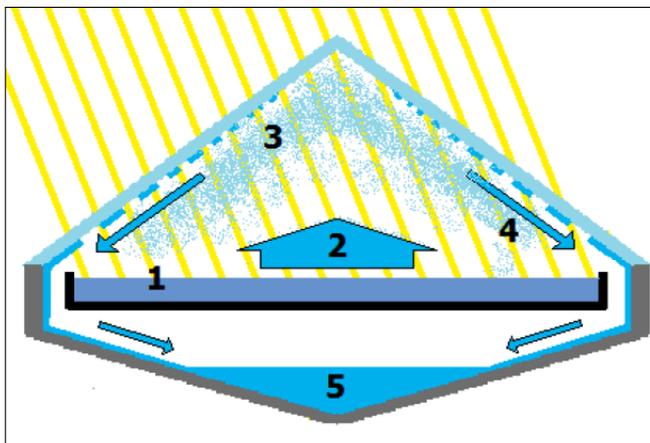
3.5 DESTILAÇÃO SOLAR

A destilação solar foi descrita por Aristóteles por volta de 2400 anos atrás. O sistema consistia na evaporação de água com impurezas e a condensação para fins potáveis. O primeiro sistema de destilação solar da era moderna foi construído no Chile, em 1872, por Charles Wilson. Consistia de um sistema de evaporação de 4459 metros quadrados, gerando 20 mil litros de água por dia para o consumo de animais. Já durante a década de 50, foi construído um sistema de destilação solar capaz de gerar 3.775.000 litros de água por dia. Além disso, nas décadas de 60 e 70, 38

sistemas de destilação solar foram construídos em 14 países, com capacidade de obter 100 a 30.000 litros de destilado por dia. (GORDES; MCCRACKEN, 1985)

O Sol é uma esfera quente de gases com diâmetro de 1.39×10^9 metros e distância 1.5×10^{11} metros da Terra. A energia solar é produzida quando há a fusão nuclear do Hidrogênio, formando Hélio. (DUFFIE; BECKMAN, 2013) A energia solar em forma de ondas eletromagnéticas penetra através do vidro. Em seguida as ondas de maior comprimento transferem a energia em forma de calor ao líquido a ser destilado. O calor faz com que o estado de agitação das moléculas aumente e se desprendam do líquido para o ar logo acima. O vapor então é condensado na superfície interna do vidro e segue por gravidade até um armazenador do destilado. (GORDES; MCCRACKEN, 1985). Os destiladores solares reproduzem o ciclo hidrológico em uma escala menor. O funcionamento básico é uma estufa, na qual os raios solares penetram pelo vidro transparente inclinado e aquecem o que irá ser destilado. A água é evaporada e condensa sobre a superfície interna do vidro. As gotículas formadas escorrem até uma canaleta e são coletadas. (MILLER, 2003). Na destilação de um líquido, o mesmo é aquecido, produzindo vapores nos quais serão condensados para a formação de produtos intermediários ou finais de destilação. (COSTA, 2008)

A figura 5 mostra os raios solares entrando e aquecendo o efluente a ser tratado [1]. Em seguida é evaporado[2] e condensado nas paredes internas [3]. As gotículas condensadas descem pela superfície interna [4] e o efluente tratado é estocado em [5]. O sistema funciona através da energia da radiação solar. A energia solar é abundante, não esgota e é isenta de poluição (KAUSHAL, 2010).



Fonte: Sítio Solar (2011)

Figura 5 – Destilador Solar. Fonte: SÍTIO SOLAR, 2011 apud SILVA, 2011

O destilador solar deve ser de material resistente às condições climáticas, como alta radiação solar, variações de temperatura, precipitação, etc. Devem ser de materiais atóxicos sem emitir vapores, além de serem resistentes à corrosão pelo líquido a ser tratado. (GORDES; MCCRACKEN, 1985). Existem vários tipos de destiladores solares. A figura 6 mostra os diferentes tipos de concepção de destiladores: com 1 bandeja e 1 vidro inclinado, uma bandeja e dois vidros inclinados, híbridos, em formato hemisférico, triangular e piramidal e em degraus (YADAV; KUMAR, 2016).

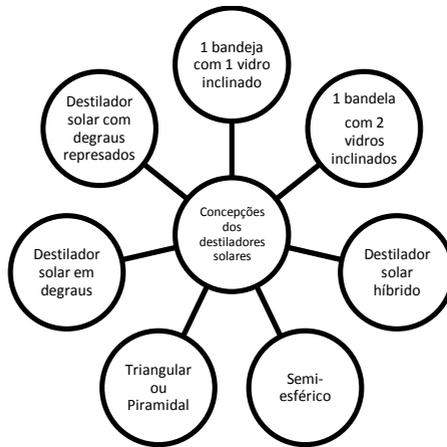


Figura 6 – Diferentes tipos de concepção de destiladores. Fonte: YADAV; KUMAR, 2016

As principais variáveis que influenciam na eficiência do destilador solar é a temperatura do recipiente onde se encontra o efluente a ser destilado, a temperatura ambiente, a inclinação do vidro, a transparência, radiação solar e altura da camada do efluente. Quanto menor a altura, mais eficiente será. Além disso, quanto mais baixa é a temperatura ambiente, maior será a produção de condensado (AHMED, 1988). A eficiência dos destiladores solares comerciais varia de 30 a 45% podendo chegar até 60%. (GORDES; MCCRACKEN, 1985).

Na área industrial, a destilação geralmente é utilizada como forma de separação de substâncias, não sendo utilizada para o tratamento de efluentes com compostos tóxicos. (COSTA, 2008)

A destilação solar além de ser comumente utilizada para tratamento de água, também é estudada em tratamento de efluentes. A ideia central do experimento realizado por Potoglou, Kouzeli-katsiri e Haralambopoulos (2004) foi o tratamento de águas residuárias de uma indústria de azeite de oliva. Com níveis bons de radiação solar e temperatura, o experimento resultou em uma redução de 80% de DQO e 90% de Nitrogênio.

Outro experimento realizado por Gowtham, Kamalakannan e Karthick (2011) comparou a eficiência da destilação solar no tratamento de efluentes utilizando alguns materiais na bandeja para aumentar a evaporação. Utilizou-se materiais como somente parafina, parafina com es-

ponja, parafina com pedras, entre outros. O estudo concluiu que a evaporação aumentou em 51,28% quando utilizou-se areia com esponja na bandeja para aumentar a eficiência.

Além disso, pode-se utilizar o efluente industrial tratado pela destilação solar para dessedimentação de animais (água potável). O experimento conduzido por Velmurugan et al. (2008) observou-se que a taxa de evaporação média normal é de 1,66 litros para cada 8 horas, aumentando 53% quando foi utilizado "degraus" na superfície evaporativa.

No experimento de destilação solar direta para efluentes de laboratório realizado por Costa (2008), foi constatado remoção de 100% nos metais analisados. O destilador tratou efluentes com valores maiores ou iguais a 2000 mg/L de Cromo, 2000 mg/L de Cobre, 70 mg/L de Zinco e 200 mg/L de Ferro para valores abaixo do limite de detecção 0,05 mg/L. Para o Formol, não houve remoção, visto que o mesmo apresenta alta volatilidade. Já em relação ao Álcool, houve um aumento na concentração no destilado, e conseqüentemente a DQO aumentou.

4 METODOLOGIA

As análises foram realizadas no efluente bruto e no tratado, com respectivas metodologias. A tabela 5 mostra os três parâmetros que foram analisados.

Tabela 5 – Parâmetros a serem analisados

Parâmetro	Método	Base Teórica	Local
pH	pHmetro	Standard Methods for the examination of water and wastewaters	LIMA
Prata	Espectrometria de Absorção Atômica	Standard Methods for the examination of water and wastewaters	Laboratório de Absorção Atômica (Particular)
Fenol Total	Método 4-aminoantipirina	NBR 10740: Água - Determinação de fenol total	LIMA

Fonte: Do autor

Segundo estudo realizado por Grigoletto (2011), a média de produção de efluentes radiográficos depende da quantidade de filmes processados, podendo variar de 10 a 240 L/mês para o revelador, 7 a 200 L/mês para o fixador e 28 L/mês para água de lavagem. Os efluentes utilizados no experimento são oriundos de uma clínica que processa imagens de radiografias odontológicas, com uma produção mensal de 9 litros por mês. É importante salientar que os efluentes utilizados nos destiladores 1 e 2 foram provenientes da mesma clínica, mas de remessas diferentes.

As pirâmides foram dispostas ao ar livre, no terraço do prédio da Engenharia Sanitária e Ambiental, conforme figuras 7 e 8.



Figura 7 – Destilador Solar 1. Fonte: Do autor.



Figura 8 – Destilador Solar 2. Fonte: Do autor.

Foram utilizadas duas pirâmides destiladoras. Segundo estudo realizado por Silva (2014) nos mesmos destiladores utilizados neste experimento, foi constatado que a pirâmide 1, que possui área da bandeja de $2,02 \text{ m}^2$ teve como produção máxima em 1 dia $6,37 \text{ L/m}^2\cdot\text{d}$, mínima em 1 dia de $0,32 \text{ L/m}^2\cdot\text{d}$ e uma média mensal de $2,97 \text{ L/m}^2$. Ou seja, a pirâmide 1 produz, em média, 6 litros de destilado por dia. Já a pirâmide 2, que possui área da bandeja de $0,18 \text{ m}^2$ teve como produção máxima em 1 dia $0,013 \text{ L/m}^2\cdot\text{d}$, mínima em 1 dia de $0,001 \text{ L/m}^2\cdot\text{d}$ e uma média mensal de $0,00339 \text{ L/m}^2$. Ou seja, a pirâmide 2 produz, em média, até 70 mL por

mês. É importante salientar que esta baixa produção foi devido à reevaporação do efluente destilado, sendo que não havia isolamento no compartimento que armazena o destilado.

Em dezembro foi realizada a reforma do equipamento. Mangueira, parafusos e torneira de saída foram substituídos. Também foi feita a limpeza e um novo silicone para vedação foi empregado. A figura 9 apresenta a pirâmide desmontada para a limpeza.



Figura 9 – Reforma e limpeza da pirâmide 1. Fonte: Do autor.

Deste modo, o efluente bruto foi colocado para ser tratado porém, ocorreu um vazamento, provavelmente no ponto de entrada do efluente na bandeja da pirâmide. As figuras 10 e 11 mostram o efluente na bandeja e o tratado com contaminação.



Figura 10 Efluente a ser tratado na bandeja. Fonte: Do autor.



Figura 11 Efluente tratado contaminado. Fonte: Do autor.

Para contornar este problema, retirou-se o efluente, feita a limpeza e vedação do sistema de entrada. Após uso de água com corante vermelho, verificou-se que ainda havia um pouco de vazamento, no qual, para este projeto não é aceitável contaminação. A figura 12 mostra a água com corante vermelho para o teste do equipamento.



Figura 12 Água com corante para teste de vazamento. Fonte: Do autor

Assim, de forma temporária, foi vedada a entrada do efluente pela mangueira, e a água com corante foi colocada diretamente na bandeja. Porém, ainda havia vazamento.

Como o vazamento era provavelmente na bandeja em algum ponto, resolveu-se colocar recipientes de alumínio. Dessa forma, não houve vazamentos, e o efluente foi destilado conforme previsto, não havendo contaminação entre o bruto e o tratado. As figuras 13, 14 e 15 mostram os recipientes de alumínio com o efluente a ser tratado e as gotículas condensadas na superfície interna da pirâmide, além do efluente tratado.



Figura 13 Recipientes de alumínio com o efluente a ser tratado.
Fonte: Do autor.



Figura 14 Gotículas condensadas na superfície interna da pirâmide maior. Fonte: Do autor.



Figura 15 Efluente destilado pela pirâmide maior. Fonte: Do autor

Também foi realizada a destilação na pirâmide 2. Foram colocadas folhas de papel brancas em volta do reservatório de efluente tratado da pirâmide 2 para diminuir a reevaporação do efluente tratado e aumentar a eficiência. Além disso, recipientes de alumínio também foram dispostos na nova pirâmide. (Figuras 16, 17 e 18.)



Figura 16 Pirâmide 2 com recipientes com o efluente a ser tratado. Fonte: Do autor



Figura 17 Pirâmide 1 e 2 (comparação de dimensões). Fonte: Do autor

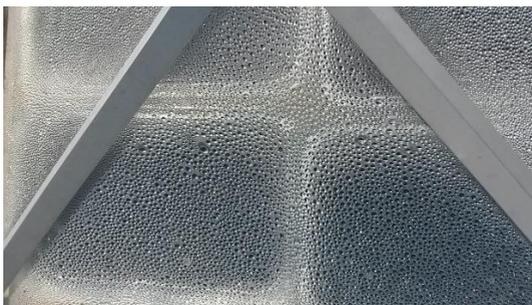


Figura 18 Gotículas condensadas na superfície interna da pirâmide 2. Fonte: Do autor.

A figura 19 mostra o efluente tratado.



Figura 19 Efluente destilado pela pirâmide 2. Fonte: Do autor.

Como os resultados das análises de prata foram inconclusivos e incoerentes, optou-se por analisar novamente, fazendo a abertura de amostra por ataque ácido ($\text{pH} < 2$) e análise no mesmo dia. Mesmo assim, todas as amostras deram negativo. Decidiu-se abrir a amostra através da digestão ácida, utilizando ácido nítrico e sulfúrico, além de filtração previstos na NBR 13809 Água – Tratamento preliminar de amostras para determinação de metais – Método da espectrometria de absorção atômica/emissão em chama. O processo durou entorno de 5 horas e meia e as amostras digeridas foram cobertas com papel alumínio e refrigeradas para evitar a complexação da prata pela ação da luz e do calor. As figuras 20 e 21 mostram as amostras sendo digeridas e analisadas, seguindo os padrões de segurança.



Figura 20 Béqueres de Teflon na chapa de aquecimento dentro da estufa. Fonte: Do autor.



Figura 21 Análise das amostras no espectrômetro de absorção atômica. Fonte: Do autor.

As análises foram realizadas no dia seguinte, e novamente deu negativo. Sendo assim, após pensar nas hipóteses que poderiam influenciar e conversando decidiu-se tentar apenas acidificar ($\text{pH} < 2$) e diluir a amostra em 1000, 2000 e 3000 vezes.

Após várias análises e processos de aberturas e diluições diferentes, constatou-se que o erro de leitura estava no espectrômetro de absorção

atômica. Sendo assim, as amostras foram enviadas a um laboratório particular para análise. (Figura 22)



Figura 22 Amostras enviadas para análise de prata. Fonte: Do autor.

As análises de Fenóis foram realizadas em triplicata, seguindo a metodologia da NBR 10740, utilizando o espectrofotômetro calibrado para análise de fenóis totais. Foi feita a análise dos efluentes brutos e tratados das duas pirâmides, sendo o resultado obtido como a média dos valores em triplicata.

A eficiência de remoção foi calculada utilizando a fórmula 1.

$$E = \left(\frac{B-T}{B} \right) * 100 \quad (1)$$

Onde:

E= Eficiência de remoção, em porcentagem;

B= Valor Bruto do respectivo parâmetro, em mg/L;

T= Valor Tratado do respectivo parâmetro, em mg/L.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 6 mostra os resultados das análises, as remoções e a validação com a legislação CONAMA N°430/2011. A pirâmide 1 gerou cerca de 3 litros em 8 horas no verão, com intensa insolação. Já a pirâmide 2 gerou cerca de 200 mL em 3 dias no outono, com tempo frio e nebuloso.

Tendo em vista o mal funcionamento do equipamento da absorção atômica, no qual não obteve êxito em localizar o problema, gerando resultados inconsistentes, optou-se por analisar em laboratório particular habilitado. A análise foi realizada também por absorção atômica, e o resultado encontra-se no Anexo A.

Tabela 6 – Resultados das análises de pH, Fenóis Totais e Prata

Total

Parâmetros	Destilador 2				Destilador 1			
	Bruto	Tratado	Remoção	Legislação	Bruto	Tratado	Remoção	Legislação
pH	10,03	5	-	OK	9,73	5,35	-	OK
Fenóis Totais (mg/L)	2256	4,72	99,79%	NÃO	16000	9,57	99,94%	NÃO
Prata Total (mg/L)	2,031	<0,007	100%	OK	1,156	<0,007	100%	OK

5.1 PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS DA DESTILAÇÃO SOLAR COMO FORMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DE RADIOGRAFIA ODONTOLÓGICA

A destilação solar como forma de tratamento de efluentes de radiografias odontológicas apresenta vantagens e desvantagens. Este sistema de tratamento pode ser utilizado em clínicas que produzem pouco efluente, ou pode-se coletar e levar para um sistema de destilação centralizado no caso de hospitais, que geram até 800 litros por mês de efluente (FERNANDES,2005). Assim, ter uma pirâmide no local da clínica pode ser viável, porém é necessário um local adequado e sem sombras. Nem todas as clínicas dispõem de um espaço viável para destilação in loco. Porém, por depender do sol, a destilação solar torna-se dependente das condições climáticas, que muitas vezes podem ser desfavoráveis, como dias de chuva, nublados e frios. A destilação depende da área também, pois

quanto mais efluente necessita ser tratado, maior terá que ser a pirâmide. Além disso, não se tem o controle da temperatura interna, podendo chegar a 72,6°C (SILVA, 2014). Podendo volatilizar os fenóis. Como vantagens, podemos ter baixo custo de operação. Inicialmente, tem-se o custo da pirâmide, porém, o custo de operação é baixo, pois como utiliza somente a energia solar, sem a necessidade de energia elétrica. Outra vantagem é a concentração de prata, ou seja, a prata ficará concentrada na bandeja, facilitando o transporte para uma posterior recuperação, além do mais diminui as viagens de transporte do efluente para tratamento.

A seguir os pontos positivos e negativos de forma condensada.

Vantagens

- Viável para tratamento in loco em pequenas empresas;
- Baixo custo de operação;
- Resíduo sólido concentrado de baixo peso e volume, sem outros compostos como materiais adsortivos;
- Resíduo sólido pode ser disposto em aterro sanitário;
- Não utiliza produtos químicos;
- Não é necessária mão de obra especializada;
- Pode associar facilmente a outros processos de tratamento;

Desvantagens

- Médio custo de implantação;
- Depende das condições climáticas;
- Trata pequenas quantidades;
- Sem controle da temperatura;
- Necessita área sem sombra;
- Há Fenol no efluente tratado fora dos padrões para lançamento.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a remoção de 100% de prata verificou-se que a é possível separar a prata através da destilação solar direta. Além do mais, pode-se concluir que as duas pirâmides funcionaram corretamente, sem vazamentos ou contaminações.

Em relação ao fenol, apesar da eficiência de remoção ser maior do que 99,79%, o efluente tratado não está adequado ao lançamento em corpos d'água. Portanto, pode-se optar por realizar diluição em 1/10 do efluente tratado da pirâmide 2 e 1/20 da pirâmide maior para ser disposto em corpos d'água. Ou ainda levar o efluente a tratamento do fenol, podendo utilizar técnicas como: ozonização com adsorção. (SOUZA, 2009)

O pH está dentro dos padrões estabelecidos para a disposição em corpos d'água.

O resíduo sólido resultante da evaporação do efluente pode ser disposto em aterro sanitário licenciado (CONAMA N° 358/05), porém convém levar em consideração o valor econômico da prata contido neste resíduo sólido. Portanto, é mais recomendável o aproveitamento econômico recuperando a prata.

A hidroquinona presente no revelador é altamente tóxica e não possui padrões para sua emissão na legislação. Talvez seja necessário incluir a mesma nos padrões de emissão e verificar se foi removida pela destilação solar direta.

É importante haver excelente vedação no destilador para evitar perdas por evaporação ou entrada de água de chuva.

Recomenda-se a utilização de recipientes de alumínio ou similar para a disposição do efluente a ser destilado na pirâmide. Tal ação tem por objetivo facilitar o transporte do resíduo que não evaporou e evitar possíveis vazamentos, como ocorreu na pirâmide maior.

Fica como sugestão para trabalhos futuros, analisar a destilação dos efluentes radiográficos odontológicos em outros tipos de destiladores solares.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, S. T.. Study of single-effect solar still with an internal condenser. **Solar & Wind Technology**. Baghdad, Iraq, p. 637-643 1988.

AKTAS, S. MORCALI, M. H., YUCEL, O. Silver Recovery from Waste Radiographic Films by Cementation and Reduction: *Canadian Metallurgical Quarterly*, Istanbul, v. 49, n. 2, p.147-154, mar. 2010.

ANDREUCCI, R. **Iniciação à Radiologia Industrial. Projeto Extensão Universitária Uninove**. São Paulo – SP, ABENDE. 2005. 77p.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewaters**, 21 th edition, American Public Health Association, Washington. 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10740: Água - Determinação de fenol total**. Rio de Janeiro, 1989. 6 p.

ATSDR- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY – **Toxicological profile for silver**. 1990. 145p.

BARLOW, Janice; JOHNSON, Jo Ann P.. Early Life Exposure to Phenols and Breast Cancer Risk in Later Years FACT SHEET on PHENOLS. **Breast Cancer & The Environment Research Centers**, San Francisco, p.9-20, 11 jul. 2007.

BOHNER, Lauren Oliveira Lima et al. DIFUSÃO DE MATERIAL INFORMATIVO SOBRE O DESCARTE DE RESÍDUOS RADIOLÓGICOS ENTRE ACADÊMICOS DE ODONTOLOGIA E CIRURGIÕES-DENTISTAS DA REGIÃO SUL DO BRASIL. **Monografias Ambientais: (Revista Eletrônica do Curso de Especialização em Educação Ambiental da UFSM)**, Santa Maria, v. 3, n. 3, p.476-481, 2011.

BORTOLETTO, E.C., **Caracterização da geração e da qualidade do efluente líquido do laboratório de raio-x da clínica odontológica do Hospital Universitário de Maringá (HUM)**, Dissertação de Mestrado, DEQ_ Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Pr, 2005.

BORTOLETTO, Edmilson Cesar et al. Remoção da prata em efluentes radiográficos. **Acta Sci. Technol.**, Maringá, v. 9, n. 1, p.37-41, 2007

COLOMBIA, Uso del agua y residuos líquidos. **Decreto 1594**. 1984.

CONAMA. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. nº357, de 17 de março de 2005

CONAMA. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº257, de 17 de março de 2005**, nº430, de 13 de maio de 2011

COSTA, Claudio Gastão da. **DESTILAÇÃO SOLAR: APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE LABORATÓRIOS**. 2008. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

CROATIA, Emission limit values for wastewater discharges. **Water Act –Ministry of regional development, forestry and water management**. 2009

DICASRADIOLOGIA. **Filmes radiográficos**. Disponível em: <<http://dicasradiologia.blogspot.com.br/2013/05/filmes-radiograficos.html>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

DOI, Kunio. Diagnostic imaging over the last 50 years: research and development in medical imaging science and technology. **Physics In Medicine And Biology**, [s.l.], v. 51, n. 13, p.5-27, 20 jun. 2006. IOP Publishing. DOI: 10.1088/0031-9155/51/13/r02. Disponível em: <stacks.iop.org/PMB/51/R5>. Acesso em: 08 out. 2015

DUFFIE, John A.; BECKMAN, William A.. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 4. ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2013. 928 p.

FELTRE, Ricardo. **Química**. São Paulo: Moderna LTDA, 2004. 384 p.

FERNANDES, Geraldo Sérgio. Análise e Gerenciamento de Efluentes de Serviços de Radiologia. **Radiol Bras**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 38, p.355-358, jan. 2005

FERREIRA, Cássio Costa. **IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE GARANTIA DA QUALIDADE DA IMAGEM RADIOGRÁFICA EM HOSPITAIS DA REDE PÚBLICA DE ARACAJU - SE.** 2007. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2007.

FISPQ, Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico -. **Fenol.**: Rodia, 2007. 19 p.

FRAGA, Isabel Cristina Serta et al. **CONFIABILIDADE METROLÓGICA DE ALGUMAS SOLUÇÕES TAMPÃO UTILIZADAS PARA A MEDIÇÃO DE pH.** Disponível em: <[http://repositorios.inmetro.gov.br/bitstream/10926/251/1/2002_FragaCoutoRibeiro ENQUA-LAB_2002.pdf](http://repositorios.inmetro.gov.br/bitstream/10926/251/1/2002_FragaCoutoRibeiro_ENQUA-LAB_2002.pdf)>. Acesso em: 25 jun. 2016.

FREITAS, Aguinaldo de; ROSA, José Edu; SOUZA, Icléo Faria e. **Radiologia Odontológica.** São Paulo: Artes Médicas, 1984. p. 508.

GORDES, Joel; MCCRACKEN, Horace. UNDERSTANDING SOLAR STILLS. **Vita Technical Paper**, Arlington, Virginia, v. 37, n. 1, p.1-49, set. 1985

GOSHIMA, T., HORI, K., YAMAMOTO, A. Recovery of silver from radiographic fixer. **Oral Surgery oral medicine oral pathology**, Tokyo, v. 77, n. 6, p. 684-688, jun, 1994.

GOWTHAM, M.; KAMALAKANNAN, S.; KARTHICK, L.. Effluent treatment analysis using solar distiller. **International Conference On Green Technology And Environmental Conservation (gtec-2011)**, India, p.291-295, dez. 2011. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/gtec.2011.6167682.

GREECE, Table with the approved parameter limits for industrial effluent. **Sewerage Board of Limassol – Amathus.** 2010

GRIGOLETTO, Jamyle Calencio et al. Situação do gerenciamento de efluentes de processamento radiográfico em serviços de saúde. **Radiol Bras.**, Ribeirão Preto, p.301-307, out. 2011.

GRIGOLETTO, Jamyle Calencio. **A realidade do gerenciamento de efluentes gerados e m serviços de diagnóstico por imagem: em busca**

de uma gestão inte grada e sustentável de resíduos. 2010. 191 f. Tese (Doutorado) - Curso de Enfermagem, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2010.

HOWE, P.d.; DOBSON, S.. **SILVER AND SILVER COMPOUNDS: ENVIRONMENTAL ASPECTS.** Geneva: World Health Organization, 2002

IGARASHI-MAFRA, L. et al. **Recuperação da prata presente no efluente do processo de raio-x radiográfico utilizando carvão ativado de coco de babaçu com e sem tratamento com iodo.** In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE ADSORÇÃO, 6., 2006, Maringá. Anais. Maringá: Departamento de Engenharia Química/UEM, 2006.

KAUSHAL, Varun Aayush. Solar stills: A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews.** India, p. 446-453. 2010.

MASEBINU, S.O., MUZENDA, E. Review of silver recovery techniques from radiography effluent and X-ray film waste. In: **World Congress on Engineering and Computer Science, II**, 2014, San Francisco, p 22-24, out 2014.

MILLER, J. E. **Review of water resources and desalination technologies.** Sandia National Laboratories. SAND 2003-0800. Albuquerque, USA, 2003.

NAIR, C. Indu; JAYACHANDRAN, K.; SHASHIDHAR, Shankar. Biodegradation of phenol. **African Journal Of Biotechnology.** p. 4951-4958. 29 dez. 2008. Disponível em: <<http://www.academicjournals.org/AJB>>. Acesso em: 20 jun. 2016

NIRJA, Gupta; AJAI, Pillai; PRACHI, Parmar. Spectrophotometric Determination of Phenol in Micellar Medium. **Research Journal Of Chemical Sciences.** p. 6-10. 14 dez. 2012. Disponível em: <<http://www.isca.in/rjcs/Archives/v2/i12/2.ISCA-RJCS-2012-112.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

PAULA, Camila Salgado de. **PH, pOH e equilíbrio iônico da água.** Disponível em: <<http://educacao.globo.com/quimica/assunto/equilibrio-quimico/ph-poh-e-equilibrio-ionico-da-agua.html>>. Acesso em: 25 jun. 2016.

PETHKAR, A.v.; PAKNIKAR, K.m.. Thiosulfate biodegradation–silver biosorption process for the treatment of photofilm processing wastewater. **Process Biochemistry**. India, p. 855-860. 31 jan. 2003.

PISTÓIA, Gustavo Dorneles et al. A IMAGEM LATENTE E A QUÍMICA DO PROCESSAMENTO RADIOGRÁFICO. **Saúde**, Santa Maria, RS-brasil, v. 30, n. 1-2, p.12-20, 2004.

POLAT, H. ERDOGAN, D. Heavy metal removal from waste waters by ion flotation. **Journal of Hazardous Materials**, Urla-Izmir, v 148, p 267-273, sep, 2007

POTOGLOU, D.; KOUZELI-KATSIRI, A.; HARALAMBOPOULOS, D.. Solar distillation of olive mill wastewater. **Renewable Energy**, Greece, v. 29, n. 9, p.569-579, abr. 2004.

PURCELL, T. W., PETERS, J.J. Sources of silver in the environment. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Maryland, v. 17, n. 4, p. 539-546, 1998

SILVA, Márcio Cláudio Cardoso da. **ESTUDOS SOBRE SISTEMAS DE DESTILAÇÃO SOLAR DIRETA PARA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA**. 2014. 343 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SITIOSOLAR. **Los Destiladores Solares**. Portal de Energia Renováveis. Disponível em: <http://www.sitiosolar.com>. Acesso em: 23 de novembro de 2015.

SOUZA, Fernanda Batista de. **REMOÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS DE EFLUENTES PETROQUÍMICOS COM TRATAMENTOS SEQUENCIAIS E SIMULTÂNEOS DE OZONIZAÇÃO E ADSORÇÃO**. 2009. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

TAO, Hu-Chun, et. al. Recovery of silver from silver(I)-containing solutions in bioelectrochemical reactors. **Bioresource Technology**, Shenzhen. v. 111, p. 92-97, feb 2012

TOPANOTTI, Franciane. **AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DE REVELADOR E FIXADOR DE RADIOGRAFIAS PROVENIENTES DE CLÍNICAS ODONTOLÓGICAS UTILIZANDO *Daphnia magna* e *Allium cepa* L.** 2010. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010.

UGANDA, The Nacional Environment (Standards for Discharge of Effluent into Water or on Land). **Regulations, S.I.** n 5, 1999

VELASCO, Maria Valéria Robles et al. Rejuvenescimento da pele por peeling químico: enfoque no peeling de fenol. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, São Paulo, v. 1, n. 79, p.91-99, fev. 2004.

VELMURUGAN, V. et al. Desalination of effluent using fin type solar still. **Energy**, India, v. 33, n. 11, p.1719-1727, set. 2008.

YADAV, Chaturbhuj; KUMAR, Mahesh. Recent Advances in Stepped and Weir Type Solar Still. **International Journal Of Recent Advances In Engineering & Technology (IJRAET)**. Haryana (india), p. 83-90. fev. 2016.

WHITE, Stuart C.; PHAROAH, Michael J.. **RADIOLOGIA ORAL: Fundamentos e Interpretação.** Mosby, 2004. 741 p.

8 ANEXOS

ANEXO A – RELATÓRIO DE ENSAIO DE ANÁLISE DE PRATA

RELATORIO DE ENSAIO - A_954.2016_EF_1_1

Data de Conclusão do Relatório: 06/06/2016

DADOS DO CLIENTE

Interessado: Maruan Karím Alemsan
Endereço: Rua Alves de Brito, 276 202 D
CEP: 88.015-440
Telefone: (48) 8439-1610
Processo Comercial: 789-2016

CNPJ:

Cidade: Florianópolis , Santa Catarina
Bairro: Centro
IE:
E-mail: maruan.alemsan@gmail.com

DADOS DA AMOSTRA

Protocolo: 954.2016_EF_1_1
Procedência: Efluente
Ponto Coleta: Bruto 1
Responsável pela Coleta: Cliente-Maruan Karin Alemsan
Data Coleta: 01/10/2015
Hora Coleta: Não informado
Condições Climáticas: Não informado
Data Recebimento: 01/06/2016
Hora Recebimento: 10:00

RESULTADOS

Encontra-se na(s) página(s) seguinte(s) e referem-se exclusivamente a amostra analisada.

RELATORIO DE ENSAIO - A_954.2016_EF_1_1

PARÂMETRO	RESULTADO	UNIDADE
Prata Total	1,156	mg/L

DADOS COMPLEMENTARES DO ENSAIO

PARÂMETRO	LQ	U95%	MÉTODO	DATA DE REALIZAÇÃO
Prata Total	0.007	0,24	SM 3111 B	06/06/2016

Código Ordem Serviço: A_954.2016

Chave de autenticação: 0T9-2XZS-5TC

Verifique a autenticidade deste documento no seguinte endereço: <http://qmcsaneamento.glabnet.com.br/valida.php>

NOTAS:

Nota 01: SM (Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater), Edição 22.

Nota 02: LQ Limite de Quantificação.

Nota 03: Esse Relatório somente poderá ser produzido na sua totalidade e sem alterações.

Nota 04: Plano de Amostragem: O planejamento da amostragem (análise, local de coleta e frequência) é de responsabilidade do cliente. A execução da coleta pela QMC Saneamento é seguida conforme Standard Methods 1060, NBR 9898, NBR 9897.

Nota 05: A incerteza declarada é a Incerteza Relativa e devemos multiplicar o resultado apresentado pela Incerteza Relativa afim de encontrar a Incerteza Absoluta Expandida (k=2);




Djan Porrua de Freitas
Responsável Técnico – CRQ 13400691


Simone Cassão de Freitas
Supervisor da Qualidade – CRQ 13402493

RELATORIO DE ENSAIO - A_954.2016_EF_2_1

Data de Conclusão do Relatório: 06/06/2016

DADOS DO CLIENTE

Interessado: Maruan Karím Alemsan
Endereço: Rua Alves de Brito, 276 202 D
CEP: 88.015-440
Telefone: (48) 8439-1610
Processo Comercial: 789-2016

CNPJ:

Cidade: Florianópolis , Santa Catarina
Bairro: Centro
IE:
E-mail: maruan.alemsan@gmail.com

DADOS DA AMOSTRA

Protocolo: 954.2016_EF_2_1
Procedência: Efluente
Ponto Coleta: Tratado 1
Responsável pela Coleta: Cliente-Maruan Karin Alemsan
Data Coleta: 01/03/2016
Hora Coleta: Não informado
Condições Climáticas: Não informado
Data Recebimento: 01/06/2016
Hora Recebimento: 10:00

RESULTADOS

Encontra-se na(s) página(s) seguinte(s) e referem-se exclusivamente a amostra analisada.

RELATORIO DE ENSAIO - A_954.2016_EF_2_1

PARÂMETRO	RESULTADO	UNIDADE
Prata Total	<0,007	mg/L

DADOS COMPLEMENTARES DO ENSAIO

PARÂMETRO	LQ	U95%	MÉTODO	DATA DE REALIZAÇÃO
Prata Total	0.007	0,24	SM 3111 B	06/06/2016

Código Ordem Serviço: A_954.2016

Chave de autenticação: 0T9-2XZS-5TC

Verifique a autenticidade deste documento no seguinte endereço: <http://qmcsaneamento.glabnet.com.br/valida.php>

NOTAS:

Nota 01: SM (Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater), Edição 22.

Nota 02: LQ Limite de Quantificação.

Nota 03: Esse Relatório somente poderá ser produzido na sua totalidade e sem alterações.

Nota 04: Plano de Amostragem: O planejamento da amostragem (análise, local de coleta e frequência) é de responsabilidade do cliente. A execução da coleta pela QMC Saneamento é seguida conforme Standard Methods 1060, NBR 9898, NBR 9897.

Nota 05: A incerteza declarada é a Incerteza Relativa e devemos multiplicar o resultado apresentado pela Incerteza Relativa afim de encontrar a Incerteza Absoluta Expandida (k=2);




Djan Porrua de Freitas
Responsável Técnico – CRQ 13400691


Simone Cassão de Freitas
Supervisor da Qualidade – CRQ 13402493

RELATORIO DE ENSAIO - A_954.2016_EF_3_1

Data de Conclusão do Relatório: 06/06/2016

DADOS DO CLIENTE

Interessado: Maruan Karím Alemsan
Endereço: Rua Alves de Brito, 276 202 D
CEP: 88.015-440
Telefone: (48) 8439-1610
Processo Comercial: 789-2016

CNPJ:

Cidade: Florianópolis , Santa Catarina
Bairro: Centro
IE:
E-mail: maruan.alemsan@gmail.com

DADOS DA AMOSTRA

Protocolo: 954.2016_EF_3_1
Procedência: Efluente
Ponto Coleta: Bruto 2
Responsável pela Coleta: Cliente-Maruan Karin Alemsan
Data Coleta: 01/03/2016
Hora Coleta: Não informado
Condições Climáticas: Não informado
Data Recebimento: 01/06/2016
Hora Recebimento: 10:00

RESULTADOS

Encontra-se na(s) página(s) seguinte(s) e referem-se exclusivamente a amostra analisada.

RELATORIO DE ENSAIO - A_954.2016_EF_3_1

PARÂMETRO	RESULTADO	UNIDADE
Prata Total	2,031	mg/L

DADOS COMPLEMENTARES DO ENSAIO

PARÂMETRO	LQ	U95%	MÉTODO	DATA DE REALIZAÇÃO
Prata Total	0.007	0,24	SM 3111 B	06/06/2016

Código Ordem Serviço: A_954.2016

Chave de autenticação: 0T9-2XZS-5TC

Verifique a autenticidade deste documento no seguinte endereço: <http://qmcsaneamento.glabnet.com.br/valida.php>



NOTAS:

Nota 01: SM (Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater), Edição 22.

Nota 02: LQ Limite de Quantificação.

Nota 03: Esse Relatório somente poderá ser produzido na sua totalidade e sem alterações.

Nota 04: Plano de Amostragem: O planejamento da amostragem (análise, local de coleta e frequência) é de responsabilidade do cliente. A execução da coleta pela QMC Saneamento é seguida conforme Standard Methods 1060, NBR 9898, NBR 9897.

Nota 05: A incerteza declarada é a Incerteza Relativa e devemos multiplicar o resultado apresentado pela Incerteza Relativa afim de encontrar a Incerteza Absoluta Expandida (k=2);


Djan Porrua de Freitas
Responsável Técnico – CRQ 13400691


Simone Cassão de Freitas
Supervisor da Qualidade – CRQ 13402493

RELATORIO DE ENSAIO - A_954.2016_EF_4_1

Data de Conclusão do Relatório: 06/06/2016

DADOS DO CLIENTE

Interessado: Maruan Karím Alemsan
Endereço: Rua Alves de Brito, 276 202 D
CEP: 88.015-440
Telefone: (48) 8439-1610
Processo Comercial: 789-2016

CNPJ:

Cidade: Florianópolis , Santa Catarina
Bairro: Centro
IE:
E-mail: maruan.alemsan@gmail.com

DADOS DA AMOSTRA

Protocolo: 954.2016_EF_4_1
Procedência: Efluente
Ponto Coleta: Tratado 2
Responsável pela Coleta: Cliente-Maruan Karin Alemsan
Data Coleta: 01/04/2016
Hora Coleta: Não informado
Condições Climáticas: Não informado
Data Recebimento: 01/06/2016
Hora Recebimento: 10:00

RESULTADOS

Encontra-se na(s) página(s) seguinte(s) e referem-se exclusivamente a amostra analisada.

RELATORIO DE ENSAIO - A_954.2016_EF_4_1

PARÂMETRO	RESULTADO	UNIDADE
Prata Total	<0,007	mg/L

DADOS COMPLEMENTARES DO ENSAIO

PARÂMETRO	LQ	U95%	MÉTODO	DATA DE REALIZAÇÃO
Prata Total	0.007	0,24	SM 3111 B	06/06/2016

Código Ordem Serviço: A_954.2016

Chave de autenticação: 0T9-2XZS-5TC

Verifique a autenticidade deste documento no seguinte endereço: <http://qmcsaneamento.glabnet.com.br/valida.php>



NOTAS:

Nota 01: SM (Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater), Edição 22.

Nota 02: LQ Limite de Quantificação.

Nota 03: Esse Relatório somente poderá ser produzido na sua totalidade e sem alterações.

Nota 04: Plano de Amostragem: O planejamento da amostragem (análise, local de coleta e frequência) é de responsabilidade do cliente. A execução da coleta pela QMC Saneamento é seguida conforme Standard Methods 1060, NBR 9898, NBR 9897.

Nota 05: A incerteza declarada é a Incerteza Relativa e devemos multiplicar o resultado apresentado pela Incerteza Relativa afim de encontrar a Incerteza Absoluta Expandida (k=2);


Djan Porrua de Freitas
Responsável Técnico – CRQ 13400691


Simone Cassão de Freitas
Supervisor da Qualidade – CRQ 13402493