

UnB - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FGA - FACULDADE GAMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
BIOMÉDICA

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA
RETIRADA DE PRATA COMO TRATAMENTO DOS EFLUENTES
DE SERVIÇOS DE RADIOLOGIA NO DISTRITO FEDERAL E
ENTORNO

WALTER REIS CALHEIROS

ORIENTADOR: PROFESSOR Dr. RONNI GERALDO GOMES DE
AMORIM

CO-ORIENTADOR: PROFESSOR Dr. LEANDRO XAVIER
CARDOSO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

PUBLICAÇÃO: 107A/2019

BRASÍLIA/DF: MAIO – 2019

UnB - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FGA - FACULDADE GAMA


**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
BIOMÉDICA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA
RETIRADA DE PRATA COMO TRATAMENTO DOS EFLUENTES
DE SERVIÇOS DE RADIOLOGIA NO DISTRITO FEDERAL E
ENTORNO**

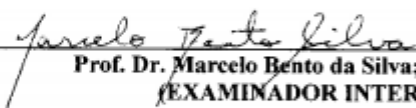
WALTER REIS CALHEIROS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA DA FACULDADE GAMA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA BIOMÉDICA.

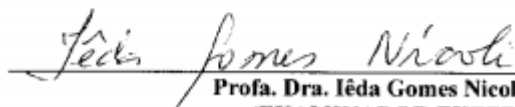
APROVADA POR:



**Prof. Dr. Ronni Geraldo Gomes de Amorim; FGA / UnB
(ORIENTADOR)**



**Prof. Dr. Marcelo Bento da Silva; FGA / UnB
(EXAMINADOR INTERNO)**



**Profa. Dra. Iêda Gomes Nicoli; CNEN
(EXAMINADOR EXTERNO)**

BRASÍLIA/DF, 28 DE MAIO DE 2019.

FICHA CATALOGRÁFICA

WALTER REIS CALHEIROS

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA RETIRADA DE PRATA COMO TRATAMENTO DOS EFLUENTES DE SERVIÇOS DE RADIOLOGIA NO DISTRITO FEDERAL E ENTORNO [Distrito Federal] 2019.

Nº. p. 59, 210 x 297 mm (FGA/UnB Gama, Mestre, Engenharia Biomédica, 2019).

Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade Gama. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica.

1. Imagens Radiográficas

2. Revelação

3. Efluentes

4. Prata

I. FGA UnB Gama/ UnB.

II. Título (Mestre)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CALHEIROS, W. R (2019). DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA RETIRADA DE PRATA COMO TRATAMENTO DOS EFLUENTES DE SERVIÇOS DE RADIOLOGIA NO DISTRITO FEDERAL E ENTORNO. Dissertação de Mestrado em Engenharia Biomédica, Publicação Nº 107A/2019, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, Faculdade Gama, Universidade de Brasília, Brasília, DF, nº. p.59.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: WALTER REIS CALHEIROS

TÍTULO: DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA RETIRADA DE PRATA COMO TRATAMENTO DOS EFLUENTES DE SERVIÇOS DE RADIOLOGIA NO DISTRITO FEDERAL E ENTORNO

GRAU: Mestre

ANO: 2019

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. _____

2019

72.444-240 Brasília, DF – Brasil.

DEDICATÓRIA

Para ..., com amor.

O Mestre na arte da vida faz pouca distinção entre o seu trabalho e o seu lazer, entre sua mente e seu corpo, entre sua educação e sua recreação. Ele simplesmente persegue sua visão de excelência em tudo o que faz, deixando para os outros a decisão de saber se está trabalhando ou se divertindo. Ele acha que está sempre fazendo as duas coisas simultaneamente.

Texto budista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha Mãe Neusa, a minha querida esposa Maristela por estar sempre presente quando preciso tanto afetivamente quanto profissionalmente, e aos meus filhos, enteados e netos que enchem de alegria os meus dias. Agradeço também aos meus professores em especial aos meus orientadores Professor Dr. Leandro e Professor Dr. Ronni, que tiveram paciência e sabedoria na condução deste trabalho.

BRASÍLIA/DF, 28 DE MAIO DE 2019.

RESUMO

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA RETIRADA DE PRATA COMO TRATAMENTO DOS EFLUENTES DE SERVIÇOS DE RADIOLOGIA NO DISTRITO FEDERAL E ENTORNO

Autor: WALTER REIS CALHEIROS

Orientador: Prof. Dr. RONNI GERALDO GOMES DE AMORIM

Co-Orientador: Prof. Dr. LEANDRO XAVIER CARDOSO

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica

Brasília, maio, 2019.

Os Raios X foram descobertos há mais de um século, e o desenvolvimento das ciências médicas ganhou um importante aliado com os serviços de radiologia ajudando tanto no tratamento, quanto no diagnóstico. No entanto, apesar dos benefícios trazidos pelos exames radiológicos, a deposição dos efluentes gerados por essa atividade quando da revelação dos filmes radiográficos, tem servido de discussão sobre a correta destinação desses efluentes diretamente no esgoto, e também a deposição de filmes radiográficos em aterros sanitários. As características tanto do revelador quanto do fixador mostram que estes efluentes são, de maneira geral, bastante poluente. Almeja-se com este trabalho de importância ambiental eliminar o rejeito impróprio da prata contida nos efluentes oriundos do processo de revelação de películas radiográficas, reciclando um recurso mineral importante e de alto valor comercial para referida indústria, além de impedir a contaminação de rios e de outros corpos d'água com este metal. A saúde dos organismos aquáticos e terrestres pode sofrer algum risco, conforme descrito por (MARCIEL, 2014), pelo agrupamento de certos metais pesados, serem descartados após a etapa de revelação e fixação, contaminando o solo e águas superficiais e subterrâneas. A contaminação do meio ambiente causada pelo despejo da prata gera vários problemas ambientais, que podem ser encontrados em diversas literaturas. Diante disso, o presente trabalho teve por objetivo desenvolver e implantar um equipamento de retirada da prata dos efluentes de processadores de imagens radiográficas utilizados em serviços de radiodiagnóstico no DF e entorno. Os resultados experimentais demonstraram que foi possível recuperar a prata contida na solução de fixador radiográfico exaurida, com alguma impureza, mediante a passagem da prata em contato com o equipamento, com agitação constante. O processo descrito produz em média 3,5 g de prata por litro de fixador tratado. Esta quantidade varia muito em função da concentração de prata no fixador e dos cuidados que devem ser tomados ao longo das diferentes etapas do processo.

Palavras-chave: Imagens Radiográficas, Revelação, Efluentes, Prata

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF AN EQUIPMENT TO REMOVE SILVER AS TREATMENT OF EFFLUENTS OF RADIOLOGY SERVICES IN THE FEDERAL DISTRICT AND SURROUNDINGS CITIES

Author: WALTER REIS CALHEIROS

Supervisor: Prof. Dr. RONNI GERALDO GOMES DE AMORIM

Co-Supervisor: Prof. Dr. LEANDRO XAVIER CARDOSO

Post-Graduation Program in Biomedical Engineering

Brasília, may 2019

X-rays were verified over a century ago, and the medical sciences development has gained an important allied with radiology services contributing in both treatment and diagnosis. However, despite the advantages brought by the radiological exams, their waste deposition during the radiographic films developing has been used as an argument about the right discard of those effluents straight through the sewage system as well as the radiographic films deposition in the garbage dump. Both developer and the fixer features show that these effluents are generally quite pollutant. This environmental significance study aims to remove the unqualified silver waste material in the effluent from the radiographical films developing recycling an important, high commercial value mineral resource for the cited industry besides hinder the rivers contamination and other water bodies with this metal. The aquatic and terrestrial organisms health may be at risk, as sketched by (MARCIAL, 2014), by the certain heavy metals aggregation to be discarded after the developing and the fixation stage infecting the soil and the surface and underground water. The environment contamination caused by the silver dumping creates several environmental matters, which can be found in some kinds of literatures. Therefore, this work aimed develop and implement the silver withdrawal of the radiographical images processors effluent used in radiodiagnostic services in DF and its environs. The empirical results showed the possibility to restore the silver brought in the used up radiographic fixer solution with some impurity meantime it was in contact with the equipment in steady activity. The process produces on the average of 3.5g of silver per liter of the fixer protocol. This amount varies greatly related to the silver in the fixer and in the care that must be taken throughout the different process stages.

Keywords: Radiographical Imaging, Developing, Effluents, Silver.

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 1.1 | CONTEXTUALIZAÇÃO E FORMULAÇÃO DO PROBLEMA..... | 16 |
| 1.2 | Objetivos..... | 17 |
| 1.2.1 | Objetivo geral..... | 17 |
| 1.2.2 | Objetivos específicos..... | 18 |
| 1.3 | Revisão da Literatura..... | 18 |
| 1.3.1 | A prata e suas características físico/químicas..... | 18 |
| 1.3.2 | Isótopos de prata..... | 20 |
| 1.3.3 | Ocorrência e obtenção de prata..... | 20 |
| 1.3.4 | Aplicações da prata..... | 22 |
| 1.3.5 | Consumo setorial de prata..... | 23 |
| 1.3.6 | Ação biológica da prata..... | 24 |
| 1.4 | Organização do Trabalho..... | 27 |
| 1.4.1 | Levantamento Bibliográfico..... | 28 |
| 1.4.2 | Visita de Campo..... | 28 |
| 1.4.3 | Obtenção das Soluções de Fixadores Radiográficos..... | 28 |
| 1.4.4 | Determinação da Concentração de Prata no Fixador..... | 28 |
| 1.4.5 | Ensaio do Equipamento Desenvolvido..... | 28 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 29 |
| 2.1 | Efluente..... | 29 |
| 2.2 | Processo Radiográfico..... | 31 |
| 2.2.1 | Processo de revelação..... | 32 |
| 2.2.2 | Processo de fixação..... | 34 |
| 2.2.3 | Lavagem..... | 35 |
| 2.2.4 | Secagem..... | 35 |
| 3 | METODOLOGIA..... | 36 |
| 3.1 | O Ambiente de Estudo..... | 36 |
| 3.2 | Delimitação do Estudo..... | 38 |
| 4 | RESULTADOS..... | 40 |
| 4.1 | Visão Geral..... | 42 |
| 4.2 | Levantamento de Requisitos..... | 44 |
| 4.2.1 | Radiografias, reciclagem e impacto ambiental..... | 45 |
| 4.2.2 | A recuperação da prata dos resíduos sólidos..... | 48 |
| 4.2.3 | Métodos disponíveis para a recuperação de prata a partir de fixadores..... | 50 |
| 4.2.4 | Recuperação da prata..... | 50 |
| 4.2.5 | Aparelhos de Raios X e efluentes..... | 52 |

| | |
|---------------------------------|----|
| 5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO..... | 53 |
| 6 PERSPECTIVAS FUTURAS..... | 54 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 55 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Representação dos isótopos de prata mais estáveis..... | 20 |
| Tabela 2 - Coeficiente médio de prata em alguns produtos..... | 23 |
| Tabela 3 - Consumo setorial de prata no Brasil e EUA em 2005..... | 24 |
| Tabela 4 - Resolução nº 357 Qualidade de Água - concentrações limites de alguns metais pesados em água..... | 42 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Elementos químicos adjacentes a prata na tabela periódica..... | 19 |
| Figura 2: Amostra de prata nativa..... | 21 |
| Figura 3: Artefatos ornamentais de prata..... | 22 |
| Figura 4: Medicamento à base de sulfadiazina de prata..... | 25 |
| Figura 5: Película radiográfica revelada..... | 32 |
| Figura 6: As transformações físico-química do filme..... | 32 |
| Figura 7: Fluxograma das Etapas de Revelação..... | 33 |
| Figura 8: Tanque de revelação sem e com os racks..... | 36 |
| Figura 9: Equipamento de retirada de prata..... | 37 |
| Figura 10: Esquema do equipamento de retirada de prata..... | 38 |
| Figura 11: Equipamento de retirada de prata..... | 39 |
| Figura 12: Depósito de prata com impureza..... | 41 |
| Figura 13: Mostra a estrutura de um filme radiográfico..... | 47 |
| Figura 14: Retirada da prata por processo químico..... | 49 |
| Figura 15: Descarte de efluentes diretamente no esgoto..... | 53 |

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

a.C – Antes de Cristo

Ag – Átomo de Prata

Ag₂S - Sulfeto de Prata

ANVISA - Agencia Nacional de Vigilância Sanitária

Br – Átomo de Bromo

CN - Íon Cianeto

Conama - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DF - Distrito Federal

O₃ - Ozônio

OMS - Organização Mundial de Saúde

PET - Poli Tereftalato de Etileno

PGRSS – Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos de Saúde

PVC - Policloreto de vinila

RDC - Resolução da Diretoria Colegiada

Séc – Século

VPI - Vestimentas de Proteção Individual

INTRODUÇÃO

Os Raios X foram descobertos há mais de um século, e o desenvolvimento das ciências médicas ganhou um importante aliado com os serviços de radiologia ajudando tanto no tratamento, quanto no diagnóstico. No entanto, apesar dos benefícios trazidos pelos exames radiológicos, a deposição dos efluentes gerados por essa atividade quando da revelação dos filmes radiográficos, tem servido de discussão sobre a deposição desses efluentes diretamente no esgoto, e também a deposição de filmes radiográficos em aterros sanitários (BAMPI, SECHI, GONÇALVES, 2013).

Diferentes membros da sociedade vêm questionando o desenvolvimento sustentável como uma prática de vital seriedade aliado à sustentabilidade ambiental e à qualidade de vida. A Organização Mundial de Saúde (OMS) refere à saúde como sendo o bem estar físico, mental e social do indivíduo e não somente a ausência de doença.

A saúde dos organismos aquáticos e terrestres pode sofrer risco, conforme descrito por (MARCIEL, 2014), pelo agrupamento de certos metais pesados, além do permitido, serem descartados após a etapa de revelação e fixação, contaminando o solo e águas superficiais e subterrâneas. Distintos sistemas do organismo humano podem sofrer efeitos adversos como causa da toxicidade dos metais pesados.

Nos serviços de imagiologia, a imagem latente é formada após a interação do filme radiográfico com a radiação ionizante (Raios X), ou também a qualquer tipo de luz que incida sobre ele. A composição das películas radiográficas são por folhas de acetato de celulose com revestimento por duas camadas de emulsão de gelatina em ambos os lados compostas por haletos de prata.

Em uma base transparente, flexível e delgada é colocada a emulsão radiográfica e para evitar seu deslocamento, uma capa adesiva que sustenta a emulsão na base. Em um ou dois lados, é colocada a emulsão que permitirá a redução do tempo de exposição e a uniformidade do processamento radiográfico. Para evitar que no processamento e manejo a película sofra riscos é agregada uma camada protetora.

O processo de revelação é bastante antigo e há grandes similaridades entre as técnicas de formação de imagens gráficas, fotográficas e radiológicas. As películas radiográficas são folhas de acetato de celulose cobertas por duas camadas de emulsão de gelatina com haletos de prata, que, após expostos à radiação ionizante, ou à luz, são excitados e os íons de prata são reduzidos à forma de prata metálica, formando uma imagem latente.

O método de revelação se versa de quatro etapas: revelação da imagem latente; fixação, que é a retirada da prata não reduzida; lavagem, para remoção dos excessos de soluções reveladoras e fixadoras que podem prejudicar a qualidade da imagem, e a etapa da secagem. À medida que as soluções são empregadas no processamento radiográfico, elas se esgotam, devendo ser trocadas por soluções novas, a fim de manter a ininterrupção do processo e a qualidade da imagem. Esta é a origem dos efluentes radiográficos.

As características tanto do revelador quanto do fixador mostram que estes efluentes são, de maneira geral, bastante poluente (FERNANDES & AZEVEDO, 2005; CARVALHO *et al.*, 2006). Além dos componentes iniciais, estes efluentes contêm também uma variedade de substâncias resultantes de reações químicas dos agentes reveladores como a prata, oxigênio e outros componentes presentes, e se caracterizam por altos valores de Demanda Química de Oxigênio.

A transformação da imagem latente em visível se dá pela reação da revelação, reduzindo quimicamente os halogenetos de prata, afetados pela luz, em prata metálica negra. Os cristais são constituídos de íons tendo falta ou excesso de um ou mais elétrons (as partículas de carga negativa), que em forma de nuvem cercam o espaço em torno dos seus núcleos em número característico para cada átomo.

O cristal de brometo de prata, por exemplo, é constituído por íons brometo negativos, Br e íons prata positivos, Ag⁺, ligados em grande número entre si, formando a chamada rede ou malha cristalina.

A contaminação do meio ambiente causada pelo despejo da prata gera vários problemas ambientais, que podem ser encontrados em diversas literaturas, onde esses

trabalhos despontam a contaminação causada pelo homem em diversos sedimentos, na água e em organismos aquáticos, com a deposição da prata no meio ambiente. A obtenção da prata se faz em reservas minerais finitas com elevado valor comercial principalmente comparando-a com outros metais.

No Brasil, a utilização da prata para fins industriais se dá na indústria de materiais radiográficos e fotográficos com um consumo estimado em cerca de 50%, onde viabiliza a recuperação da prata contida nesses efluentes, podendo ser bastante lucrativa essa atividade de recuperação por eletrólise da prata.

Almeja-se com este trabalho de importância ambiental eliminar o rejeito impróprio da prata contida nos efluentes oriundos do processo de revelação de películas radiográficas, reciclando um recurso mineral importante e de alto valor comercial para referida indústria, além de impedir a contaminação de rios e de outros corpos d'água com este metal. Para tal feito, foi desenvolvido um equipamento de retirada da prata do efluente fixador.

De acordo com a Resolução nº 358/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), os efluentes de processadores de imagem são considerados do grupo B, por apresentarem substâncias químicas que podem causar risco à saúde pública ou ao ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade. Conforme descreve o artigo 21 da referida Resolução, os resíduos do grupo B, com características de periculosidade, como é o caso dos efluentes radiográficos, quando não forem submetidos a processos de reutilização, recuperação ou reciclagem, devem ser submetidos a tratamento e disposição final específico. O artigo 22 diz que os resíduos do grupo B no estado líquido podem ser lançados em corpo receptor ou na rede pública de esgoto, desde que atendam às diretrizes estabelecidas pelos órgãos ambientais, gestores de recursos hídricos e de saneamento competentes.

Contudo, segundo a literatura, o que acontece em muitos serviços de saúde é que os efluentes radiográficos são lançados em corpo receptor ou na rede pública de esgoto com níveis de compostos inorgânicos, como o metal prata, acima dos permitidos pelos órgãos competentes. (FERNANDES *et al.*, 2006).

Segundo BORTOLETTO (2005), a disposição final e o tratamento desses efluentes, na maior parte dos serviços de saúde de diagnóstico por imagem, incluindo entidades de ensino e pesquisa, não são realizados adequadamente. Na maioria das vezes, resíduos químicos líquidos, como revelador e fixador, são desprezados sem tratamento prévio, diretamente na rede pública de esgoto.

Outra opção para resolver o problema do rejeito dos efluentes radiográficos com otimização ambiental é o tratamento dos efluentes. Embora poluentes, se forem tratados apropriadamente, esses efluentes poderiam se tornar insumo, gerando receita e economia aos serviços, por serem reutilizados. O tratamento dos efluentes radiográficos pode ser efetivado in loco, no próprio serviço de saúde onde o efluente é gerado, Daí a proposta de criação de um equipamento de retirada da prata amenizando assim esse problema ambiental.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Este trabalho ilustrará a importância do controle de efluentes gerados em um serviço de radiologia. Além dos compostos orgânicos, os efluentes de processamento radiográfico também são constituídos por compostos inorgânicos. Entre eles, o principal e mais perigoso é a prata, que também necessita ser tratada e/ou recuperada dos efluentes antes de seu descarte na rede de esgoto.

Para FERNANDES *et al.*, (2006), a quantidade de revelador e fixador utilizada pelos serviços varia de acordo com o porte do estabelecimento de saúde e com o fluxo de atendimentos. Geralmente, estabelecimentos de saúde de grande porte, como hospitais, têm um grande fluxo de atendimentos e, portanto, alto consumo de revelador e fixador e, conseqüentemente, uma maior geração de efluentes de processamento radiográfico.

A Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) nº 306/2004 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), regulamente algumas diretrizes para o gerenciamento dos efluentes de processadores de imagem utilizados em radiologia, não menciona a obrigatoriedade de tratamento da água de lavagem de filmes radiográficos previamente

ao descarte na rede pública de esgoto. Ainda, segundo a RDC nº 306/2004 da ANVISA, os reveladores podem ser neutralizados para alcançarem pH entre 7 e 9, podendo posteriormente ser lançados na rede coletora de esgoto ou em corpo receptor, desde que atendam às diretrizes estabelecidas pelos órgãos ambientais, gestores de recursos hídricos e de saneamento competentes.

Para CARLSON (2007), uma boa maneira de começar a melhorar a qualidade de nossos produtos/serviços é começar analisando e resolvendo “problemas” relativos aos mesmos. Torna-se claro, então, que problema é o que não falta. Temos problemas de custo alto, de retrabalhos, de rejeição, de perdas em geral, de reclamações etc. Os problemas estão sempre ligados aos resultados dos processos, ou seja, aos produtos ou serviços.

Nos mais de trinta anos de serviço no setor de radiologia de diversos hospitais no Rio de Janeiro e atualmente no Distrito Federal, podemos vivenciar por várias vezes o descarte de efluentes gerados da revelação de radiografias diretamente no esgoto, quando não, fazia-se somente o recolhimento do fixador, para posterior repasse a uma empresa que supostamente faria a retirada da prata. Nossa proposta é desenvolver um equipamento para recolhimento desse metal valioso no próprio local de origem, gerando receita para o serviço.

Neste sentido, este projeto justifica-se pela elevada importância do controle de efluentes dos serviços de radiodiagnósticos, considerando a importância do tratamento desses efluentes para a minimização de riscos ambientais e de saúde. Ressalta-se ainda a necessidade de maior envolvimento e conhecimento dos geradores de resíduos perigosos quanto à capacidade técnica, qualificação e idoneidade das empresas que tratam seus resíduos, no caso os efluentes radiográficos, uma vez que a responsabilidade do gerenciamento dos RSS é do gerador.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 objetivo geral

O presente trabalho teve por objetivo desenvolver um equipamento para retirada da prata como tratamento dos efluentes de processadores de imagens radiográficas utilizados em serviços de radiodiagnóstico no Distrito Federal (DF) e entorno.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realização de testes de desempenho, para verificar as condições de operação do equipamento de retirada da prata a ser criado, acoplado o equipamento a uma processadora de filmes de Raios X, no hospital participante da pesquisa.
- Identificação dos parâmetros que influenciam a quantidade dos efluentes radiográficos gerados neste hospital;
- Verificação da utilização da mínima quantidade de efluentes contaminados despejados na rede de esgoto.

1.3 REVISÃO DA LITERATURA

A prata é um elemento químico de número atômico 47 situado no grupo 11 da tabela periódica. Seu símbolo é Ag (vem do latim: argentum, "branco" ou "brilhante"). É um metal de transição branco, brilhante, macio, dúctil, maleável. Seu nome é uma evolução da palavra latina platus, que originalmente significava "plano" e depois "folha metálica". Nas línguas românicas da Península Ibérica o termo específico referindo-se a metais: em catalão, aragonês e castelhano prata e galega e Português prata (ELIAS, 2005).

Encontra-se na natureza fazendo parte de diferentes minerais (geralmente na forma de enxofre) ou como prata livre. É muito comum na natureza, da qual representa uma parte em 5 mil da crosta terrestre. A maior parte de sua produção é obtida como um subproduto do tratamento de minas de cobre, zinco, chumbo e ouro (ELIAS, 2005).

1.3.1 A prata e suas características físico/químicas

A prata é um metal branco e brilhante, que perde o brilho quando exposto ao ozônio (O₃) e oxigênio (O₂). É dúctil e maleável, ou seja, de fácil manipulação química e mecânica, o que a torna ideal para produção de fios e chapas metálicas. É o metal que

apresenta a melhor condutibilidade elétrica e calorífica respectivamente. Contudo, na fabricação de dispositivos condutores a indústria eletroeletrônica dá preferência ao cobre, por ser mais barato. Quando polida, possui excelente capacidade de reflexão, devido a esse fato, foi muito utilizada na produção de espelhos e de outros materiais refletivos. O elemento 47 é um metal de transição pertencente ao grupo 11 da tabela periódica, está entre o cobre (4º período) e o ouro (6º período). Desse modo, suas propriedades físicas e químicas são intermediárias as desses dois metais (Tabela Periódica).

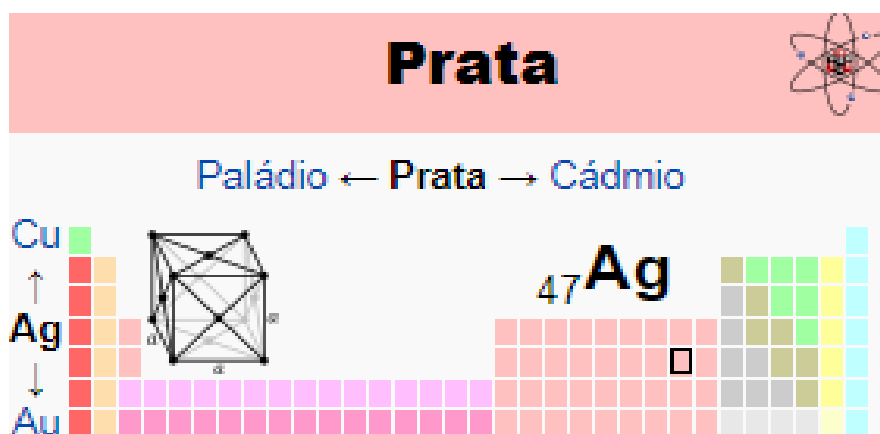


Figura 1 - Elementos químicos adjacentes a prata na tabela periódica.
Fonte: <https://www.ptable.com>

A aparência atrativa da prata é a responsável pela sua grande demanda para fins ornamentais. Sua principal desvantagem é a perda gradativa de brilho, principalmente em regiões que possuem indústrias que liberam compostos de enxofre na atmosfera. Estes compostos reagem com a prata formando o sulfeto de prata (Ag_2S), um sólido de cor negra (VOGEL, 1981).

A prata é insolúvel em ácido clorídrico, ácido sulfúrico e ácido nítrico diluídos, em água e em meio básico, mas dissolve-se facilmente em ácidos mais concentrados como ácido nítrico e ácido sulfúrico quente e em compostos que possuem o íon cianeto (CN). Quanto à solubilidade de seus sais, o nitrato de prata é bastante solúvel, ao passo que acetatos, nitritos e sulfatos de prata são pouco solúveis e os halogenetos e sulfetos são praticamente insolúveis. Os complexos de prata, geralmente, são solúveis em meio aquoso, um exemplo é o complexo de tiosulfato de prata [$\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)$], formado durante o processo de revelação de filmes fotográficos (VOGEL, 1981).

1.3.2 Isótopos da prata

A prata natural possui dois isótopos estáveis ^{107}Ag e ^{109}Ag , sendo o primeiro ligeiramente mais abundante (51,839%) que o segundo. Foram caracterizados vinte e oito radioisótopos dos quais os mais estáveis são a ^{105}Ag , ^{111}Ag e ^{112}Ag , com períodos de semidesintegração de 41,3 dias, 7,45 dias e 3,13 horas, respectivamente. Os demais radioisótopos têm períodos de semidesintegração mas curtos que uma hora, sendo que a meia vida da maioria deles é menor que três minutos. Foram identificados numerosos estados metaestáveis entre os quais os mais estáveis são $^{108\text{m}}\text{Ag}$ (418 anos), $^{110\text{m}}\text{Ag}$ (249,8 dias) e $^{107\text{m}}\text{Ag}$ (8,28 dias) (ELIAS, 2005).

Tabela 1 - Representação dos isótopos de prata mais estáveis.

| Isótopos | Meia Vida ($t_{1/2}$) | Ambiente Natural (%) | MA (u) |
|-------------------|-------------------------|----------------------|----------|
| ^{105}Ag | 41,3 dias | 00.000 | 104,9065 |
| ^{107}Ag | Estável | 51.839 | 106,9051 |
| ^{109}Ag | Estável | 48.161 | 108,9048 |
| ^{111}Ag | 7,43 dias | 00.000 | 110,9053 |
| ^{112}Ag | 3,13 dias | 00.000 | 111,9070 |

Fonte: ELIAS, 2005.

1.3.3 Ocorrência e obtenção da prata

Apenas uma pequena quantidade de prata é encontrada no estado nativo, geralmente em rochas cristalinas metamórficas. O metal ocorre principalmente sob a forma do minério argentita (Ag_2S), que normalmente é encontrado associado a outros sulfetos como os de cobre, chumbo, zinco, níquel e estanho. Dentre os minérios encontrados, os minérios de chumbo são os que contém o maior teor de prata e os de zinco o menor. Portanto, a maior parte da prata produzida no mundo é obtida como subproduto do processo de extração de outros metais, contudo ainda existem algumas minas que se ocupam exclusivamente da exploração deste metal, como a mina de

kongsberg na Noruega. As principais áreas de mineração de prata do mundo se encontram no Peru, México, Estados Unidos, Canadá, Austrália e Rússia (SILVER, 2006).



Figura 2 - Amostra de prata nativa.

Fonte: www.dreamstime.com/prata-nativa-imagem

Hoje em dia, os métodos mais utilizados para se obter a prata a partir de seus minérios são a amalgamação, cianetação e como subproduto da metalurgia de outros metais, como o cobre ou chumbo. A amalgamação consiste basicamente, na pulverização da prata nativa ou de seus minérios, a esta mistura acrescenta-se cloreto de sódio e calcopirita (CuFeS_2). Em seguida, a mistura é dissolvida em mercúrio, o que resulta na formação de uma amalgama. Depois esta amalgama é lavada e o mercúrio é eliminado por destilação, restando a prata metálica no fundo do recipiente. Já na cianetação o minério de prata após ser pulverizado e aquecido com cloreto de sódio, é dissolvido com uma solução de cianeto de sódio, resultando na formação de um complexo hidrossolúvel. Posteriormente, o filtrado é tratado com alumínio ou zinco metálicos, sendo a prata precipitada na forma metálica. Durante os processos de purificação de metais como o chumbo e o cobre são gerados resíduos que contêm prata, ouro e outros metais. (FERNANDES, 2004).

A prata obtida por este processo é quase sempre impura, com um teor de 1 a 2% de outros metais. No entanto, é possível obter prata de extrema pureza por meio de copelações sucessivas, por eletrólise ou em laboratório. Para a obtenção em laboratório, a prata impura é dissolvida com ácido nítrico concentrado, a solução obtida é tratada com ácido clorídrico concentrado, o que provoca a precipitação da prata como cloreto de prata. Em seguida, o cloreto de prata é fundido com carbonato de sódio e o produto

resultante da fusão é dissolvido em água, sendo a prata depositada no estado metálico (FERNANDES, 2004).

1.3.4 Aplicações da prata

A invenção da fotografia no início do séc. XIX, só foi possível através do uso do nitrato de prata, o mais importante composto químico da prata, utilizado em grande escala pela indústria de materiais fotográficos, onde é necessária na produção das emulsões fotossensíveis que recobre filmes e papéis fotográficos. O nitrato de prata pode ser produzido com elevado grau de pureza, servindo como matéria-prima para obtenção dos demais compostos de prata. Este sal foi bastante utilizado na fabricação de espelhos e de outras superfícies refletoras, mas recentemente, vem sendo substituídos por compostos de alumínio, que são mais baratos e abundantes. Na indústria farmacêutica o nitrato de prata é empregado como matéria-prima na produção de diversos medicamentos, devido suas propriedades anti-sépticas e germicidas (SOBRAL, 1984).



Figura 3 - Artefatos ornamentais de prata

Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Prata>

Um das aplicações mais antigas da prata é na produção de artefatos ornamentais e de utensílios domésticos de luxo, como jóias, objetos de decoração, louças, talheres e cinzeiros, dentre outros. Na produção de jóias e de objetos decorativos, em que a aparência é um fator determinante, geralmente são empregadas ligas em que a prata é o elemento majoritário. A liga de prata mais importante é constituída de prata e cobre, com 92,5% de prata e 7,5% de cobre, esta liga foi bastante

utilizada na produção de moedas. Na tabela 2, podemos averiguar a porcentagem de prata em alguns produtos importantes para indústria (SOBRAL, 1984).

Tabela 2 - Coeficiente médio de prata em alguns produtos.

| Produtos | Porcentagem (%) |
|---------------------------------------|-----------------|
| Barras, fios e chapas de prata | 100 |
| Prata coloidal | 67 |
| Cloreto de prata (AgCl) | 60 |
| Nitrato de prata (AgNO ₃) | 60 |
| Pastilhas para contato elétrico | 55 |
| Artigos de bijuteria e joalheria | 40 |
| Prata em bruto | 35 |

Fonte: DNPM/DIPLAM; MDIC/SECEX-DPPC-SERPRO; USGS Mineral Commodity Summaries 2014

1.3.5 Consumo setorial de prata

No Brasil, a maior parte da prata é consumida pela indústria de material fotográfico (34%) e radiográfico (16%). Esses setores foram responsáveis por 50% da demanda nacional no ano de 2005. A prata também é bastante utilizada pela indústria química, que foi responsável por 15% do consumo doméstico no período considerado. A prata ainda é usada na confecção de materiais odontológicos e pela indústria eletroeletrônica, estes setores responderam respectivamente por 5% e 10% do consumo de prata em 2005. Os outros 20% destinaram-se a aplicações diversas, como por exemplo: espelhação de vidros, revestimento de materiais, joalheria, etc. (RIBEIRO, 2005).

Já os Estados Unidos, maior consumidor mundial cuja estrutura de consumo setorial é representativa dos países de economia desenvolvida do Ocidente, a maior parte da prata também foi consumida pela indústria de materiais fotográficos e

radiográficos, no período considerado. Esse setor respondeu por 55% do consumo americano, em 2005. A indústria eletroeletrônica, foi o segundo setor em importância, participou com 25%, o setor de pratarias/joalheria fechou o ano com 6%, o de soldas e ligas com 4%, ficando os 10% restantes distribuídos pelos demais setores. Na tabela 3, podemos comparar o consumo setorial de prata nos dois países (RIBEIRO, 2005).

Tabela 3 - Consumo setorial de prata no Brasil e EUA em 2014.

| Setores industriais | Brasil (%) | EUA (%) |
|------------------------|------------|---------|
| Indústria fotográfica | 34 | 28 |
| Indústria radiográfica | 16 | 27 |
| Indústria química | 15 | 5 |
| Indústria eletrônica | 10 | 25 |
| Material odontológico | 5 | 5 |
| Outros | 20 | 10 |

Fonte: DNPM/DIPLAM; MDIC/SECEX-DPPC-SERPRO; USGS Mineral Commodity Summaries 2014

A produção brasileira de prata é insignificante, cerca de 10 toneladas por ano, consequentemente o Brasil é obrigado a importar grandes quantidades de prata para suprir a sua demanda interna, que é de aproximadamente 300 toneladas por ano. O metal é importado de diversos países sob a forma de produtos semimanufaturados, manufaturados e de compostos químicos (RIBEIRO, 2005).

1.3.6 Ação biológica da prata

Desde a época de Hipócrates, que é considerado o pai da medicina moderna, se conhece os efeitos antisséptico e germicida da prata. Nos dias atuais, a indústria farmacêutica utiliza compostos de prata na elaboração de diversos medicamentos que são comercializados para uma infinidade de males. Contudo, a ação antisséptica e germicida da prata se deve a liberação do íon prata em solução, por sais solúveis como o nitrato de prata. Estudos recentes demonstraram que o íon prata interage com o grupo

tiol de enzimas e de outras proteínas que se encontram na membrana celular e no citoplasma, promovendo a sua precipitação por desnaturação. ainda, há fortes indícios de que o íon prata seja capaz de interagir com os ácidos nucleicos, principalmente com as bases. No entanto, esta suspeita ainda não foi devidamente comprovada. O íon prata possui um largo espectro de ação contra fungos e bactérias, incluindo algumas bactérias muito populares no meio hospitalar como a *Estafilococcus aureus* resistentes à penicilina, a *Enterococcus* resistentes à vancomicina e a *Pseudomonas Aeruginosa* (ELIAS, 2005).



Figura 4 - Medicamento à base de sulfadiazina de prata

Fonte: <http://www.anvisa.gov.br>

A prata não é considerada muito tóxica para o nosso organismo, no entanto, a maior parte dos seus sais são venenosos e alguns são cancerígenos. Os compostos de prata quando ingeridos são absorvidos pelo sistema circulatório e se depositam em diversos tecidos do corpo, podendo provocar uma enfermidade denominada argirismo, que provoca manchas cinzas ou castanhas na pele e nas mucosas. O argirismo não é prejudicial à saúde, pois na maioria dos casos diagnosticados ele acaba regredindo espontaneamente. Já o grau de periculosidade dos sais de prata varia de acordo com o contra-íon ligado a prata. Como exemplo podemos citar o nitrito de prata (AgNO_2), a absorção deste sal pela pele pode levar ao desenvolvimento de uma doença conhecida como metahemoglobinemia, neste estado clínico ocorre uma conversão excessiva da hemoglobina em metahemoglobina, que é incapaz de ligar-se ao oxigênio. A metahemoglobina é formada quando o ferro do grupo heme é oxidado do estado ferroso (Fe^{2+}) para o estado férrico (Fe^{3+}) (ELIAS, 2005).

Alguns compostos de prata são amplamente utilizados na área da saúde, sendo que o nitrato de prata e a sulfadiazina de prata são os mais usados. Usam-se soluções de nitrato de prata no tratamento de irritações das membranas mucosas da boca e garganta e na limpeza dos olhos de recém nascidos, logo após o parto, pois é comprovadamente eficiente no combate a bactéria gonococos. Já a sulfadiazina de prata é empregada na prevenção e no tratamento de infecções em pacientes com queimaduras de II e III graus (ELIAS, 2005).

Segundo Grigoletto (2011), o cenário atual dos hospitais, clínicas e assemelhados mostra que, apesar do esforço sem investimento para o aprimoramento de profissionais, processos e equipamentos, pouco tem sido feito para controlar o impacto ambiental causado por efluentes originados de serviços de radiodiagnóstico. O serviço de diagnóstico por imagem, um dos mais importantes instrumentos de apoio a inúmeras áreas da medicina, é um exemplo típico de não-conformidades com as normas e leis de segurança e ambientais em vigência no Brasil, que incluem os impactos ambientais causados pela geração de emissões e efluentes (soluções de fixador, de revelador e água de lavagem dos filmes radiográficos) contendo substâncias tóxicas e da geração de resíduos sólidos (os filmes radiográficos) constituídos de material plástico impregnado com metal pesado (prata).

Ainda para Grigoletto (2011), são observados, também, atos inseguros, tais como: preparação e manuseio de soluções tóxicas sem utilização de vestimentas de proteção individual (VPI), auxílio a pacientes deficientes com doenças contagiosas sem utilização de VPI, ambientes onde há insalubridade resultante da presença de agentes químicos tóxicos fora dos limites estabelecidos por lei e ambientes onde a ventilação está fora das especificações.

Para Grigoletto (2011), a busca pela preservação ambiental tem sido cada vez mais dinâmica diante de toda uma problemática que vem se sucedendo pelo aumento populacional, pelas novas tecnologias e com elas, os inúmeros rejeitos gerados. Deste modo, vem-se pesquisando novas formas de tratamento para tais resíduos, a fim de minimizar os impactos ambientais causados. Todo tipo de organização, seja ela: comercial, industrial, educacional, hospitalar, odontológica ou doméstica gera, dia-a-

dia, resíduos sólidos ou líquidos, destinando-os normalmente em aterros municipais ou privados e esgotos.

Vale salientar que as indústrias não são as únicas responsáveis pelo quadro atual de contaminação do ambiente por substâncias tóxicas. As universidades, escolas e institutos de pesquisa respondem por aproximadamente 1% da produção de resíduos em países desenvolvidos como os Estados Unidos. Considerando que estas instituições exercem papel fundamental quando avaliam os impactos ambientais provocados por outras unidades geradoras de resíduos, é necessário que tratem adequadamente seus rejeitos (BENDASSOLLI *et al.*, 2003).

O fixador usado contém alto teor de prata. A prata é um metal de significativo valor no mercado e pode ser prejudicial ao sistema de tratamento de esgoto, o qual não está preparado para esse efluente. Com isso, a recuperação da prata precisa estar diretamente ligada ao processo radiográfico. Segundo Bortoletto (2007) a prata recuperada pela troca metálica apresenta ótimos resultados.

A reutilização do fixador após troca metálica como fertilizante líquido pode ser uma alternativa viável, devido à quantidade de amônia existente em sua composição. No entanto, deve-se remover o tiocianato contido neste efluente.

Segundo a Resolução CONAMA 357 de 2005 que 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, determina que o limite para lançamento de prata seja de 0,1 mg/l. Em relação ao lançamento de tiacioneto não faz menção a esse composto diretamente, e sim por meio de suas moléculas formadoras, sendo que de cianeto total (CN⁻) total o limite é de 0,2 mg/l e de sulfeto (S²⁻) é 1,0 mg/l.

1.4 Organização do trabalho

A metodologia empregada neste projeto se dividiu em cinco etapas:

1.4.1 Levantamento bibliográfico

O levantamento bibliográfico foi realizado através de pesquisa bibliográfica em periódicos encontrados em bibliotecas especializadas, bem como através de sites disponíveis na internet.

1.4.2 Visita de campo

Foram realizadas três visitas aos hospitais que fizeram parte do experimento na região do entorno de Brasília. Os hospitais visitados não possuem uma unidade de tratamento de efluentes para recuperar a prata contida em soluções fixadoras exauridas. Assim, obtemos algumas informações sobre o funcionamento do método de descarte, que foram de grande importância para o desenvolvimento deste trabalho

1.4.3 Obtenção das soluções de fixadores radiográficos

As soluções utilizadas neste trabalho foram gentilmente cedidas pelos serviços de radiologia dos Hospitais participantes, antes da sua destinação final a uma rede de esgoto. Estas foram coletadas e armazenadas em galões de policloreto de vinila (PVC), enquanto que a faixa de pH variava entre 4,5 e 5,5.

1.4.4 Determinação da concentração de prata no fixador

A determinação da prata contida em fixadores radiográficos exauridos pode ser feita usando-se a análise gravimétrica, um método analítico absoluto, em que os resultados apresentam erros inferiores a 1%, razão pela qual este método foi o escolhido para este projeto. Os ensaios foram realizados em triplicata e à temperatura ambiente ($25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) no laboratório de Químicas da UNB, com alíquotas de 25 ml da solução de fixador e com solução saturada de sulfeto de sódio (10 g/l). Desse modo, pode-se dosar o teor de prata no fixador com grande precisão.

1.4.5 Ensaio do equipamento desenvolvido

Os ensaios foram realizados à temperatura ambiente ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$) em escala laboratorial, usando o aparato experimental constituído de um suporte metálico, um agitador magnético, um cartucho de PVC.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico serão definidos alguns conceitos importantes sobre efluentes de serviços de radiologia, bem como a interação com o meio ambiente, efeitos biológicos das contaminações, conceitos do processo e revelação, fixação, lavagem e secagem.

2.1 Efluente

A escolha da metodologia a ser aplicada em um trabalho de pesquisa científica é de fundamental importância para o alcance adequado dos resultados esperado pelo pesquisador. Vianna (2001), “afirma que metodologia pode ser entendida como a ciência e a arte de como desencadear ações de forma a atingir os objetivos propostos para ações que devam ser definidas com pertinência, objetividade e fidedignidade”.

Para fundamentar o projeto, será realizada uma revisão bibliográfica nas ferramentas gerenciais, nos sistemas de gestão da manutenção e na relação entre a estratégia produtiva e a estratégia da atuação da manutenção.

A implementação do equipamento de para retirada da prata como tratamento de efluentes de processadores de imagem radiográfica terá como base para sua composição, a criação de um equipamento de recuperação metálica, onde a precipitação pode remover a prata das soluções ricas neste metal, reduzindo-a a níveis extremamente baixos.

Devido suas características fotossensíveis, a prata tem sido utilizada na produção de películas radiográficas combinadas a uma base de acetato (derivado de petróleo) e difundida mundialmente para hospitais e clínicas de diversos segmentos do setor de saúde. No processo do equipamento criado, uma barra metálica fica submersa sob agitação na solução rica em prata. Durante este processo a prata ficará aderida a barra de ferro em um processo de metalização.

Sendo a prata um metal pesado e altamente poluidor, a sua liberação no ambiente é proibida por normas estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) e pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). As Resoluções da Diretoria Colegiada (RDC) 306/04, da Anvisa, e Resolução no 358/05, do Conama, dispõem sobre o gerenciamento destes resíduos.

Na medida em que ocorre o aumento da realização dos exames radiográficos, há uma maior necessidade de se utilizar soluções individuais de processamento, ou seja, isto requer um maior número de misturas de substâncias químicas cuidadosamente equilibradas para produzir um melhor resultado final. As soluções utilizadas durante o processo radiográfico com o tempo se esgotam e uma vez que isto ocorre, elas devem ser trocadas por novas soluções, a fim de conservar o desenvolvimento do processo e a peculiaridade da imagem, com isso, as soluções de processamento substituídas são lançadas em recipientes adequados na forma de efluentes (FERNANDES *et al.*, 2005).

A concentração de metais pesados além do aceitável para o descarte na solução empregada na etapa de fixação pode constituir um fator de risco para a saúde de organismos aquáticos e terrestres, por meio da contaminação do solo e águas superficiais e subterrâneas. Dentre os efeitos adversos causados pela toxicidade de metais pesados, podemos citar os danos ao sistema nervoso central, sistema hepático, sistema hematopoiético, sistema renal e sistema esquelético (MARCIEL, 2014).

Os exames radiográficos são requeridos em vários momentos pelos médicos; após a utilização muitas levam os exames para casa, onde normalmente são guardados por muito tempo até chegar ao lixo, o destino final. Entretanto, a grande dificuldade é que os exames radiográficos não podem ser depositados em qualquer ambiente, pois polui tanto o solo quanto a água. A película radiográfica é constituída por plástico acetato e metal pesado prata, que são consideravelmente prejudiciais ao meio ambiente. O plástico possui um tempo de decomposição de cerca de 100 anos, a prata, por sua vez, conservar-se no meio ambiente por tempo indeterminado e pode poluir os lençóis freáticos (BOHNER *et al.*, 2011).

Durante o processo de reciclagem, as películas de exame são individualizadas de acordo com o tipo, tamanho e qualidade. A película radiográfica é colocada numa

solução à base de hipoclorito de sódio 2,0%, que aparta os compostos químicos das películas radiográficas, nesta etapa a película já se encontra limpa, e o resíduo sólido é tratado com hidróxido de sódio e, em seguida, o óxido de prata é aquecido com uma solução de sacarose por 60 minutos obtendo-se a prata impura sólida que ainda não apresenta brilho (GRIGOLETTO *et al.*, 2011).

2.2 Processo Radiográfico

Os materiais radiográficos, em geral, são constituídos por um composto fotossensível à base de haletos de prata, que enegrece ao ser exposto a luz. Esses haletos, agregados a uma gelatina, forma o que se conhece por emulsão fotossensível, na qual a imagem é formada. Esses haletos podem ser os brometos e os iodetos, sendo que o mais utilizado em radiografias é o brometo de prata (ANDREUCCI, 2005).

A emulsão é colocada sobre um suporte, denominado base, que é feito geralmente de um derivado de celulose, transparente e de cor levemente azulada. Uma característica dos filmes radiográficos é que, ao contrário dos filmes fotográficos, eles possuem a emulsão em ambos os lados da base (ANDREUCCI, 2005).

Quando os cristais de haleto de prata interagem com os fótons de Raios X ou de luz, ocorre uma mudança física de modo a formar a imagem latente, invisível ao olho humano e é definida pela quantidade de cristais que absorvem energia desses fótons. Essa imagem para se tornar visível, precisa passar por um processo chamado redução onde os haletos de prata sensibilizados são degradados e têm seus íons prata convertidos em prata neutra ou metálica (FERREIRA, 2007).



Figura 5 - Película radiográfica revelada

Fonte: Autor da pesquisa

2.2.1 Processo de Revelação

O processamento de um filme radiográfico, mais comumente chamado de revelação, obedece a quatro etapas distintas de um processo físico-químico complexo. Em cada etapa há a atuação de um conjunto de produtos químicos sobre o filme sensibilizado de forma a tornar visíveis e permanentes as alterações produzidas nos cristais de haletos de prata presentes na emulsão. As quatro etapas são: revelação, fixação, lavagem e secagem. São apresentadas na figura 6, e independem se o processamento será realizado de forma manual ou automática (SOARES, 2001)

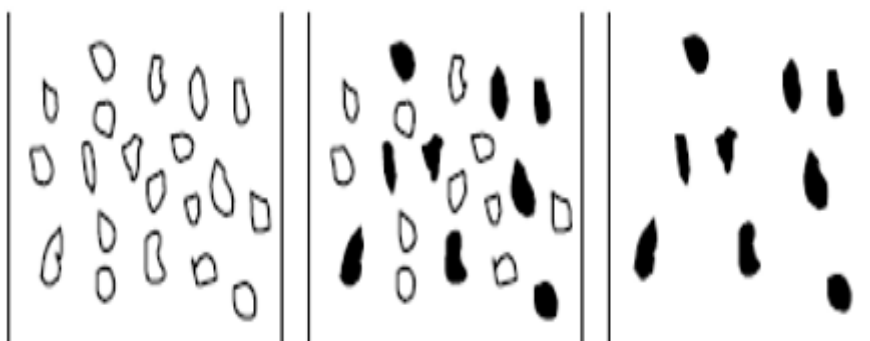


Figura 6: As transformações físico-química do filme

Fonte: Adaptado de SOARES, (2001)

Já a figura 7 apresenta no fluxograma de etapas do processo de revelação das películas radiográficas, desde a revelação, fixação, lavagem até a secagem. Sendo a prata um metal pesado e altamente poluidor, a sua liberação no ambiente é proibida por normas estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) e pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). As Resoluções da Diretoria Colegiada (RDC) 306/04, da Anvisa, e Resolução nº 358/05, do Conama, que dispõem sobre o gerenciamento dos resíduos.



Figura 7: Fluxograma das etapas da revelação
Fonte: Adaptado de REIS (2004)

A etapa da revelação consiste da colocação do filme em uma solução química composta de várias substâncias para que a prata metálica fique enegrecida e visível, deixando que venha à tona a imagem ainda escondida na película do filme. Cada uma das substâncias que compõem o líquido revelador tem uma função bem definida no processo.

O redutor é o responsável pela conversão dos grãos de brometo ou iodeto de prata em prata metálica visível, composta pela fenidona, responsável pela metade ou menor porção de cinza da imagem, e pela hidroquinona, encarregada da produção da porção mais densa (mais escura) da imagem. (PISTÓIA *et al.*, 2004).

O ativador, carbonato de cálcio, possui a função de suavizar e inchar a emulsão, para que o redutor possa ter acesso aos grãos de prata que absorveram a radiação. O elemento restritor, responsável pela moderação na taxa de revelação é o brometo de

potássio. Já o preservativo, sulfato de sódio, tem a função de proteger os agentes redutores contra a oxidação, resultante de seu contato com o ar e reduzir a ação dos agentes de oxidação (PISTÓIA *et al.*, 2004).

O endurecedor, gluteraldeído, retarda o inchaço da emulsão de forma a não prejudicar o transporte do filme pelos rolamentos da processadora automática durante o processo de revelação. A água é o elemento solvente da solução, ou seja, aquele que dilui a concentração dos produtos e ajuda no transporte dos elementos químicos até o contato com os micros cristais (PISTÓIA *et al.*, 2004).

Todos estes seis produtos que fazem parte do líquido revelador possuem cada um sua função específica no sucesso da transformação da imagem latente em imagem visível. No entanto, mesmo com a presença do elemento restritor, deve-se cumprir exatamente o tempo necessário para o processo de revelação. Se o tempo for excedido, mesmo que em poucos segundos, os micros cristais não expostos serão também atingidos pelos agentes redutores. Neste caso, a imagem começará a ficar mais escura do que deveria, com mais borramento e menor nitidez (PISTÓIA *et al.*, 2004).

2.2.2 Processo de fixação

A segunda etapa a ser cumprida é a de fixação, realizada em sequência após a revelação, onde o filme deve ser imerso totalmente para que ocorra o processo. O líquido fixador tem por função criar uma barreira protetora sobre a imagem para que ela não sofra a ação do tempo e possa, então, ser manipulada sem qualquer cuidado especial pelo técnico, pelo radiologista ou pelo próprio paciente. O líquido fixador é composto por uma mistura de cinco produtos químicos diferentes. (PISTÓIA *et al.*, 2004)

O ácido acético atua como neutralizador do sistema e é o responsável pela interrupção da ação do revelador que fica em atividade na emulsão após o filme abandonar o recipiente que contém esse produto (revelador). Isto é fundamental para que o filme não se torne super-revelado e ocorra o seu velamento. (ANDREUCCI, 2005).

A retirada dos grãos não sensibilizados na emulsão é feita por um elemento que não reage com os grãos enegrecidos. Esse elemento é o tiosulfato de amônia ou de sódio. A prata se acumula na solução fixadora e pode ser recuperada por um processo de eletrodeposição em uma superfície metálica (ANDREUCCI, 2005).

O preservativo possui a mesma função do preservativo da solução reveladora, agindo, agora, sobre o fixador para evitar sua oxidação e reduzir sua atividade. Já o endurecedor, tem a função de contrair e endurecer a emulsão e é composto pelo cloreto de alumínio. A água é o elemento solvente da solução, ou seja, aquele que ajuda a diluir a concentração dos produtos e ajuda no transporte dos elementos químicos até o contato com os micro cristais e depois ajuda a carregar os micro cristais não expostos para fora da região da imagem (ANDREUCCI, 2005).

2.2.3 Lavagem

Etapa importante que consiste da retirada da solução fixadora, pois o tiosulfato de amônia não pode permanecer sobre o filme. Se o processo fosse interrompido sem a lavagem, com o passar do tempo ocorreria uma reação com o nitrato de prata e o ar, fazendo com que o filme adquirisse uma coloração marrom-amarelada. A vida útil do filme processado é determinada pela concentração de tiosulfato de amônia retida no filme, não podendo exceder a $4,6 \text{ mg/cm}^2$ (PISTÓIA *et al.*, 2004).

2.2.4 Secagem

A etapa final do processo de revelação é a de secagem, quando o filme é submetido à circulação de ar quente sobre sua superfície tornando-o apto para ser examinado pelo radiologista, responsável pelo laudo acerca do seu objeto de estudo. Quando não disponível o ar quente, pode-se simplesmente deixar o filme radiográfico com a colgadura pendurado, como num varal de roupas, afim de que a água escorra pela ação da gravidade. (PISTÓIA *et al.*, 2004).



Figura 8: Tanque de revelação sem e com os racks
Fonte: Autor da pesquisa

3 METODOLOGIA

3.1 O Ambiente de Estudo

Este estudo quantificou os efluentes radiográficos gerados nos estabelecimentos de saúde geradores, conheceu o destino final que lhes é dado e analisou o nível de conhecimento dos trabalhadores nos serviços quanto às normas vigentes.

Diante do exposto, foi desenvolvido um equipamento de coleta de prata dos efluentes do processo de revelação de radiografias com materiais apropriados na utilização de produtos químicos, sendo projetado para obter o máximo de eficiência operacional, apresentando um conjunto de características que garante o seu alto desempenho com algumas vantagens no tratamento dos efluentes. O sistema foi conectado diretamente a processadora de filmes sem a necessidade de monitoramento contínuo, não necessitando nenhuma modificação na processadora para sua instalação com acionamento automático.

O cartucho empregado possui um volume útil de 600 ml, este pode ser substituído por outro de maior ou menor capacidade de armazenagem sem afetar eficiência da metalização da prata. Foi utilizado um motor de rotação contínua, acoplado a uma barra cilíndrica de aço inox 316 com as seguintes dimensões: 20 cm de altura x 3,5 cm de diâmetro, sendo que a parte em contato com a solução foi prensada

na ponta para evitar perda de material durante a coleta. Este eletrodo foi conectado a fonte alimentadora por dois fios de cobre revestidos com plásticos. A fonte empregada pode fornecer até 3,5 A de corrente e uma tensão máxima de 220 V. O volume de fixador tratado por ensaio foi de 500 ml. O material assim obtido foi raspado da barra metálica, sendo verificadas impurezas presentes na prata que podem ser eliminadas após tratamento.



Figura 9: Equipamento para retirada da prata
Fonte: Autor da pesquisa

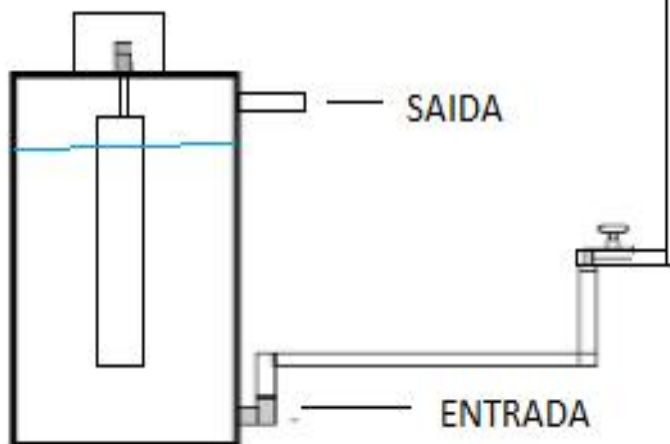


Figura 10: Esquema do equipamento para retirada da prata da processadora
Fonte: Autor da pesquisa

3.2 Delimitação do Estudo

Após o posicionamento do equipamento próximo a processadora, iniciou as seguintes conexões:

- 1- Conectou uma ponta da mangueira na saída do fixador da processadora (azul), conectou-se a outra ponta da mangueira na entrada do recuperador de prata.
- 2- Conectou uma ponta da mangueira na saída do recuperador e a outra ponta na entrada da rede de esgoto.
- 3- Inseriu fixador no recuperador de prata até o seu transbordamento natural.

Precauções:

Os equipamentos devem sempre estar posicionados ao nível do piso para que possamos utilizar a gravidade natural da altura da processadora ao descarte dos efluentes.

A mangueira a ser conectada, deve sair da processadora, chegar até o ponto de conexão sem dobras ou estrangulamentos.

A mangueira de saída do recuperador de prata deverá ir ao ponto de esgoto, sempre abaixo do nível de saída do mesmo.

A especificação do modelo do equipamento de retirada de prata foi de: Dimensões de 40x10x12 cm, com capacidade para 20 litros de fixador; com consumo estimado de 25 l/dia, levando-se em conta uma carga de trabalho de 8 horas diárias; com alimentação elétrica de 220 volts. Com isso obteve-se uma retirada de prata na ordem de 3,0 kg, no período de um mês, no hospital de Águas Lindas e de aproximadamente 1,8 kg no hospital de Planaltina de Goiás, este último obteve uma quantidade menor devido ao pouco movimento no período de coleta.



Figura 11: Equipamento de retirada da prata
Fonte: Autor da Pesquisa

As soluções utilizadas neste trabalho foram gentilmente cedidas pelo Centro de Radiologia do Hospital Municipal de Planaltina de Goiás e Hospital Municipal de Águas Lindas de Goiás, cidades situadas no entorno de Brasília, coletadas no período de maio, junho e julho de 2018. Estas soluções foram coletadas e armazenadas em galões de PVC para fazerem parte do experimento de retirada da prata dos fixadores. Algumas dificuldades foram encontradas devido ao fato de que muitos hospitais do Distrito Federal já estão com seus serviços digitalizados, dificultando assim, a obtenção do fixador.

A Resolução número 358 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005) classifica os efluentes reveladores e fixadores no Grupo B, que se não forem submetidos a processo de reutilização, recuperação ou reciclagem, devem ser submetidos a tratamento e disposição final específicos. No seu Artigo 11, determina que os efluentes líquidos procedentes de prestadores de serviços de saúde, para serem lançados na rede pública coletora de esgoto, devem atender às normas estabelecidas pelos órgãos ambientais, gestores de recursos hídricos e de saneamento competentes.

Além de rever a classificação, a RDC 306 também define a obrigatoriedade do estabelecimento gerador de elaborar o PGRSS, que é o documento que estabelece diretrizes de manejo desses resíduos de acordo com suas características e riscos, devendo contemplar: segregação, acondicionamento, identificação, transporte interno, armazenamento intermediário e temporário, coleta, transporte externo e destinação final.

Os resíduos do Grupo B não têm recebido atenção necessária em todos os estabelecimentos (SILVA & HOPPE, 2005). Como estes resíduos possuem potencial de causar ou contribuir para a mortalidade ou apresentar um perigo substancial para a saúde humana e o meio ambiente, seu gerenciamento e disposição inadequados se mostram preocupantes.

4 RESULTADOS

O contato de poluentes dos serviços de saúde com os ecossistemas aquáticos leva a um risco diretamente relacionado com a existência de substâncias perigosas que poderia ter efeitos potencialmente negativos sobre o equilíbrio biológico dos ambientes

naturais. No contexto da descarga de tais efluentes nas águas residuais e daí para o ecossistema aquático, a exposição da população às substâncias perigosas requer considerar os possíveis riscos e agravos para a saúde pública.

Para a coleta dos depósitos de prata, utilizou-se uma espátula de aço inox para efetuar a raspagem do tubo de aço, após a secagem do mesmo. O depósito de prata foi pesado e acondicionado num recipiente. Este material precisa ser calcinado, a fim de ser obter um produto mais puro, ou seja, sem a presença de enxofre em sua composição.



Figura 12: Depósito de prata obtido com impureza
Fonte: Autor da pesquisa

A resolução número 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005), no seu capítulo IV, Artigos 24 e 30, proíbe o lançamento de efluentes, direto ou indireto nos corpos de água, sem o devido tratamento e sua diluição com águas de melhor qualidade. Desse modo, pretende-se com esse estudo de avaliação das ações de gestão dos efluentes do processamento de exames radiográficos na região do Distrito Federal e entorno contribuir para ações ambientais pautadas nas orientações técnicas que devem balizá-las.

Tabela 4 - Resolução nº 357 Qualidade de Água - concentrações limites de alguns metais pesados em água

| Metal | Concentração limite (mg/L) | |
|----------|----------------------------|----------------------|
| | Lançamento de efluentes | Potabilidade da água |
| Alumínio | - | 0,1 |
| Cobre | 1,0 | 0,009 |
| Chumbo | 0,5 | 0,01 |
| Prata | 0,1 | 0,01 |
| Cromo | 0,5 | 0,05 |
| Mercúrio | 0,01 | 0,0002 |

Fonte: (CONAMA, 2005)

4.1 Visão Geral

Um sistema de gerenciamento de resíduos eficiente permite que a organização atinja o nível de excelência de desempenho ambiental e promova sua melhoria contínua ao longo do tempo. Consiste, essencialmente, no planejamento de sua atividade, visando à eliminação ou minimização dos impactos ao meio ambiente, resultando em balanços mais positivos entre os benefícios e os prejuízos dela decorrentes, seja para a saúde dos ecossistemas, da fauna ou da população em geral.

O contínuo desenvolvimento da ciência médica, onde a todo o momento são incorporadas novas tecnologias aos métodos para diagnóstico e tratamento, como a imagiologia digital, nem sempre chega com a mesma velocidade aos estabelecimentos de saúde, seja por entraves econômicos ou dificuldades inerentes aos recursos humanos envolvidos na atividade.

Os resíduos gerados nos serviços radiológicos causam riscos à saúde pública e ocupacional equivalente aos resíduos dos demais estabelecimentos de saúde, existindo ainda o perigo potencial para a fauna hídrica.

Não há estimativa sobre o volume de resíduos e efluentes gerados pelos estabelecimentos de saúde e não é certo se todas as unidades possuem o PGRSS ou mesmo se aplicam as normas e princípios sanitários e ambientais quanto ao gerenciamento de seus resíduos.

Nem sempre os gestores públicos estão aptos a regularem e fiscalizarem a aplicação das normas ambientais e a demanda cada vez maior pelos serviços de diagnóstico por imagem traz consigo um aumento da produção de resíduos e efluentes potencialmente prejudiciais ao meio ambiente, em especial à vida aquática do ecossistema pantaneiro.

O serviço de diagnóstico por imagem é um dos mais importantes e utilizados instrumentos de apoio às inúmeras áreas da saúde. O processo de revelação é bastante antigo e há grandes similaridades entre os processos de formação de imagens gráficas, fotográficas e radiológicas, e serão aqui comumente tratados por foto processamento. Os filmes radiográficos são folhas de acetato de celulose revestidas por duas camadas de emulsão de gelatina com haletos de prata, que, após expostos à radiação ionizante, ou à luz, são excitados e os íons de prata são reduzidos à forma de prata metálica, formando uma imagem latente.

À medida que as soluções são utilizadas no processamento, elas se esgotam, devendo ser substituídas por soluções novas, a fim de manter a continuidade do processo e a qualidade da imagem. Esta é a origem dos efluentes radiográficos e fotográficos.

As características tanto do revelador quanto do fixador mostram que estes efluentes são, de maneira geral, bastante poluente (FERNANDES & AZEVEDO, 2005; CARVALHO *et al.*, 2006). Além dos componentes iniciais, estes efluentes contêm também uma variedade de substâncias resultantes de reações químicas dos agentes reveladores com prata, oxigênio e outros componentes presentes, e se caracterizam por altos valores de Demanda Química de Oxigênio.

A solução fixadora contém substâncias que são grandes consumidoras de oxigênio, em especial o tiosulfito, além de ácido acético, sulfito de sódio e alúmen de potássio. Já a solução reveladora contém compostos fenólicos (quinona e hidroquinona), mentol, carbonatos e hidróxidos de sódio e potássio, brometo de potássio e sulfito de sódio e apresenta um alto valor de pH, entre 5 e 9 (FERNANDES & AZEVEDO, 2005; CARVALHO *et al.*, 2006).

A etapa de lavagem também gera efluentes com os mesmos componentes das soluções fixadoras, reveladoras e seus subprodutos: hidroquinona, quinona, mentol, tiosulfato de sódio, sulfito de sódio, enxofre, ácido acético, acetato de sódio, ácido bórico e prata. As características destes efluentes mostram que não devem ser descartados sem um tratamento devido (FERNANDES & AZEVEDO, 2005; CARVALHO *et al.*, 2006).

Segundo Gonzaga Junior e Carvalho (2006), a transformação tecnológica da radiologia para o ambiente digital é economicamente viável. Segundo os autores, após aproximadamente 53 meses há redução do custo da nova tecnologia pela eliminação total do uso de filmes, compensando financeiramente o investimento inicial. Além disso, ressaltam que a tecnologia digital possibilita o armazenamento permanente da documentação em meio digital, reduzindo o espaço físico ocupado pelo arquivo de documentação e evitando o descarte das documentações radiográficas. Entretanto, consideram que a segurança do processo deve ser sustentada pela manutenção da capacidade de produção da imagem radiográfica pelo método convencional, para atender às situações emergenciais, decorrentes de problemas técnicos do meio digital.

4.2 Levantamento de Requisitos

Para solucionar o problema do descarte dos efluentes radiográficos com otimização ambiental se faz necessário o tratamento dos efluentes. Embora poluentes, se forem tratados apropriadamente, esses efluentes podem se tornar insumo, gerando receita e economia aos serviços.

O tratamento dos efluentes radiográficos pode ser realizado *in loco*, no próprio serviço de saúde onde o efluente é gerado, ou externo ao serviço, por empresa especializada na área (FERNANDES *et al.*, 2005).

Além dos compostos orgânicos, os efluentes de processamento radiográfico também são constituídos por compostos inorgânicos. Entre eles, o principal e mais perigoso é a **PRATA**, que também necessita ser tratada e/ou recuperada dos efluentes antes de seu descarte na rede de esgoto. A recuperação da prata dos efluentes de

processamento radiográfico já é um procedimento possível e realizado por muitos laboratórios. As principais técnicas para recuperação da prata incluem a recuperação eletrolítica, que é mais eficaz em soluções ricas em prata, como o fixador, as que têm como base a eletrólise, as de deslocamento metálico (cimentação, troca metálica), bem como algumas que empregam a precipitação química (RIBEIRO *et al.*, 2005).

A quantidade de revelador e fixador utilizada pelos serviços varia de acordo com o porte do estabelecimento de saúde e com o fluxo de atendimentos. Geralmente, estabelecimentos de saúde de grande porte, como hospitais, têm um grande fluxo de atendimentos e, portanto, alto consumo de revelador e fixador e, conseqüentemente, uma maior geração de efluentes de processamento radiográfico.

Já os estabelecimentos de saúde de pequeno porte, como clínicas ortopédicas, odontológicas e veterinárias, possuem um volume menor de exames, consumindo menores quantidades de soluções reveladoras e fixadoras, conseqüentemente, gerando menores quantidades de efluentes de processamento radiográfico. Porém, esses estabelecimentos apresentam outro problema, pois como a quantidade de efluentes gerada é relativamente pequena, muitas vezes ocorre o descarte dessas soluções diretamente na pia.

Considerando a importância do tratamento desses efluentes para a minimização de riscos ambientais e de saúde, ressalta-se a necessidade de maior envolvimento e conhecimento dos geradores de resíduos perigosos quanto a sua capacidade técnica, qualificação e idoneidade para tratar seus resíduos, no caso os efluentes radiográficos, uma vez que a responsabilidade do gerenciamento dos RSS é do gerador.

Ainda, faz-se necessária a revisão das resoluções nacionais, com uma regulamentação mais criteriosa do tratamento dos efluentes radiográficos, incluindo-se a água de lavagem de filmes antes do descarte na rede pública de esgoto, visando à minimização dos possíveis impactos na saúde pública e no ambiente. Isso também se justifica pela forma inadequada com a qual os efluentes radiográficos são gerenciados e pela carente situação do saneamento no País (BRASIL, 2000).

4.2.1 Radiografias, reciclagem e impacto ambiental

Radiografia é um filme ou outro material de base que possui uma imagem processada de uma determinada região anatômica do paciente, produzida pela ação dos Raios-X no filme (BONTRAGER, 2003).

Os filmes radiográficos surgiram após a descoberta dos Raios-X, porém a primeira imagem fotográfica foi percebida por um francês Joseph Nicephore Niepce, em 1826, através da exposição de um material sensível a luz numa câmera escura com lentes e espelhos (FERREIRA, 2007).

Em 1895, foi descoberto, pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen, os Raios-X. Através de um tubo, envolvido por uma caixa de cartão preta, percebeu que uma película que se encontrava próximo do tubo emitia luz sempre que este funcionava. Provou que essa luminescência eram raios invisíveis e misteriosos a que chamou de “X”. Assim, fez sua primeira experiência com a mão da sua esposa Bertha Roentgen (ALMEIDA *et al.*, 2008).

A partir de 1914, os filmes de Raios-X ficaram cada vez mais populares. Pois os filmes que eram utilizados, vinham da Bélgica e devido à Primeira Guerra Mundial, o suprimento deste material acabou sendo cortado. Obtendo grandes avanços com os filmes (FERREIRA, 2007).

No Brasil, José Carlos Ferreira Pires foi o primeiro médico a instalar um aparelho de Raios-X no interior do Brasil, na cidade de Formiga, Minas Gerais, a 600 km do Rio de Janeiro, em 1897 (PEREIRA, 2006). Porém, suas primeiras radiografias também funcionavam com as chapas de vidro fotográficos, sendo sua primeira chapa de uma mão com um corpo estranho. Mas, o tempo para realizar a radiografia demorava muito, prejudicando a imagem e expondo os pacientes em intensa radiação. Por exemplo, uma radiografia de tórax demorava cerca de 30 minutos e de um crânio em torno de 45 minutos (FENELON, 2005).

Ainda no século XIX, começaram a chegar ao Brasil os primeiros aparelhos de Raios-X. O pioneirismo foi disputado por cientistas da Bahia, São Paulo, Rio de

Janeiro, Minas Gerais e Pará. Porém não há registros corretos para determinar quem fez a primeira radiografia no filme radiográfico (CORREA, 2010).

A estrutura básica de um filme radiográfico é composta “de base, emulsão e camada protetora (cobertura), sob o filme de PET (Poli Tereftalato de Etileno), que é um tipo de plástico utilizado também em recipientes de refrigerantes” (WIEBECK, 2004).

A base ou suporte é um componente que sustenta a emulsão gelatinosa. Deve ser constituída por um material transparente que absorve pouca luz. “Já, na emulsão é a parte que recebe a imagem e nele é contida a gelatina que permite manter fixos e dispersos os microcristais ou grãos de haletos de prata que são sensíveis à luz” (FERREIRA, 2007). “As radiografias também contêm metanol, amônia e metais pesados como cromo. Além destes materiais, também podem ser encontrados chumbo nos papéis que recobrem as películas radiográficas usadas por dentistas” (CALDERARI, 2008).

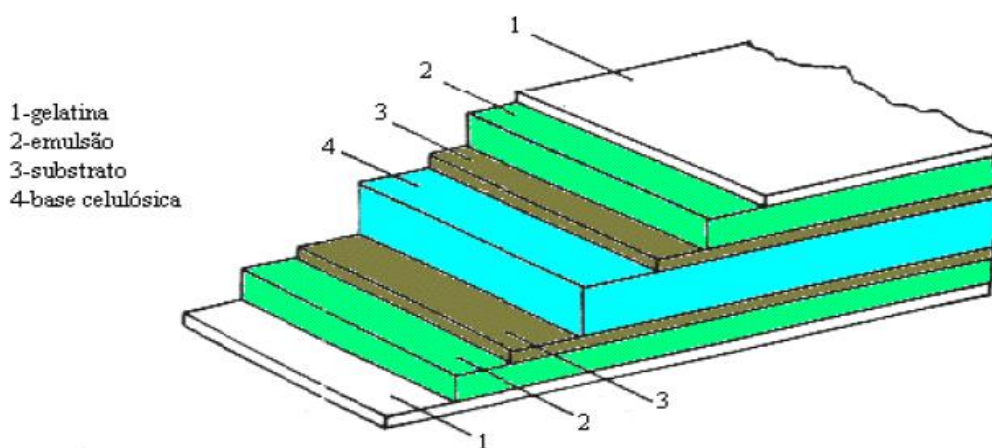


Figura 13: Mostra a estrutura de um filme radiográfico:
Fonte: Adaptado de ANDREUCCI, 2005.

O método de reciclagem das películas radiográficas tem seu início assim que estas são recolhidas em hospitais, clínicas e outras instituições. Logo após, são agrupadas por tamanho e lavadas com solução de hidróxido de sódio. Dessa solução, sai uma massa de sujeira com a prata. Para retirá-la, é preciso derreter o material unido com uns elementos fundentes. Essa técnica aparta as impurezas do valioso metal, sendo a

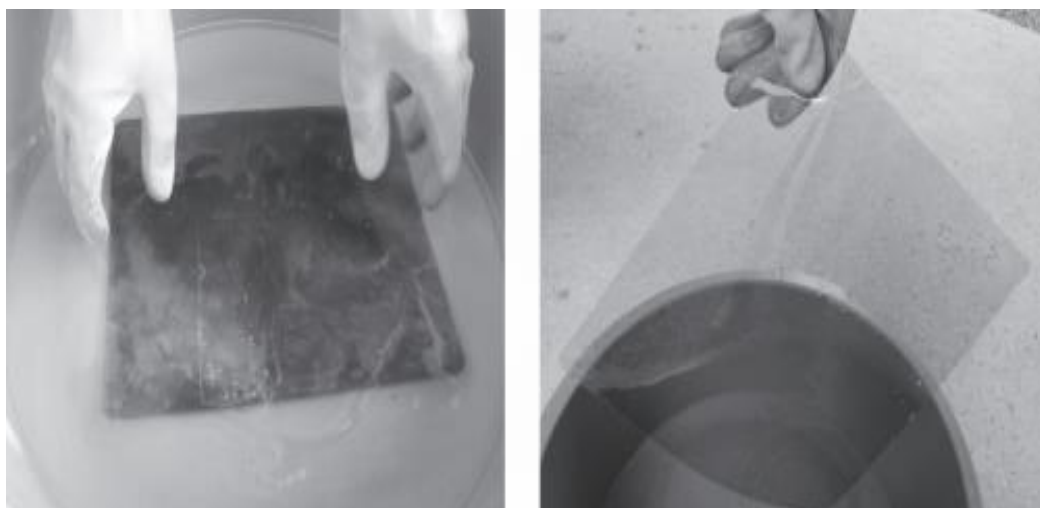
prata a parte menor. Para, no mínimo, 2,5 mil películas radiográficas, alcança 450 gramas de prata (CALDERARI, 2008).

No tocante aos impactos ambientais, estes são ocasionados por confrontos diretos e indiretos entre o homem e a natureza. Considera-se Impacto Ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1986).

Com vistas à adequação em relação às leis de preservação da saúde pública e a qualidade do meio ambiente considerando os princípios da biossegurança de empregar medidas técnicas, administrativas e normativas como a Resolução RDC 33 de 2003 do Conselho Federal de Saúde, para prevenir acidentes, preservando a saúde pública e o meio ambiente; considerando que os serviços de saúde são os responsáveis pelo correto Gerenciamento de todos os Resíduos de Serviço de Saúde (RSS) por eles gerados, atendendo às normas e exigências legais, desde o momento de sua geração até a sua destinação final; considerando que a segregação dos RSS, no momento e local de sua geração, permite reduzir o volume de resíduos perigosos e a incidência de acidentes ocupacionais dentre outros benefícios à saúde pública e ao meio ambiente (BRASIL, 2003).

4.2.2 A recuperação da prata dos resíduos sólidos

Pode ser realizada por meio de processos físicos, químicos, biológicos ou térmicos. O processo térmico, mais conhecido por incineração, é o processo mais antigo que ultimamente tem deixado de ser utilizado devido aos problemas ambientais gerados, como mau cheiro e liberação de gases tóxicos; além de não ser possível recuperar a película de acetato (SHANKAR *et al.*, 2010).



Figuras 14: Retirada da prata por processo químico
Fonte: Autor da pesquisa

A prata contida nos filmes radiográficos faz parte do grupo dos metais nobres. No fixador de Raios-X pode conter até 4 gramas de prata por litro. No filme fotográfico, cada rolo de filmes libera 0,659 gramas de prata aproximadamente (CALDERARI, 2008).

Através da legislação estadual e também pela Resolução CONAMA 20/1986, a concentração máxima de prata na água, que é descartada no ambiente, é de $0,10 \text{ mg l}^{-1}$ de prata por litro de água. No Distrito Federal, o limite é de $0,25 \text{ mg l}^{-1}$; Santa Catarina é o estado que possui uma legislação mais restritiva: $0,02 \text{ mg l}^{-1}$ (VIALLI, 2004).

Para Bampi (2013), as radiografias são solicitadas diariamente pelos médicos. Ao levar os exames para casa, normalmente eles são guardados por muito tempo até chegar ao seu destino final: o lixo. O problema é que a “chapa de Raios-X” não pode ser descartada em qualquer ambiente, pois polui tanto o solo quanto a água. O filme radiográfico é formado de plástico acetato e metal pesado e prata, que são extremamente prejudiciais ao meio ambiente. Enquanto o plástico leva cerca de 100 anos para se decompor, a prata permanece no meio ambiente por tempo indeterminado e pode poluir o lençol freático.

A requisição de exames radiográficos pelos médicos em várias etapas do atendimento e tratamento de pacientes, onde esses exames são levados para casa, e

normalmente são guardados por muito tempo, e em determinado momento são desprezados diretamente no lixo. Daí, o grande problema é que essas radiografias não podem ser desprezadas em qualquer ambiente, pois poluem tanto o solo quanto a água, sendo, pois prejudicial à saúde.

De acordo com Valle (2004) “Estes são resíduos tóxicos, que podem agir nos organismos vivos, provocando danos as suas estruturas biomoleculares. Isso pode ser incluído os aspectos carcinogênicos, mutagênicos e entre outros”.

Por isso, que há a grande necessidade da conscientização para a população, pois as radiografias, que as pessoas levam para casa, geralmente vão parar em lixões e aterros, e pode contaminar o solo e lençóis freáticos. Já as radiografias esquecidas nos hospitais são revendidas e muitas vezes recicladas por empresas responsáveis por lixo hospitalar (CALDERARI, 2008).

Como resultado destes métodos obtém-se uma espécie de “lama” carregada de prata e efluentes líquidos, semelhantes ao do banho fixador. A recuperação da prata destes efluentes líquidos pode realizar-se por vários processos, como: eletrólise, substituição metálica, precipitação química, osmose inversa ou troca iônica (KHUNPRASERT *et al.*, 2007).

4.2.3 Métodos disponíveis para a recuperação de prata a partir de fixadores

Existem vários métodos para recuperação da prata oriunda dos processos fotossensíveis, porém, devido a fatores econômicos, os mais empregados atualmente são: o eletrolítico, a cementação (ou deslocamento metálico) e a precipitação química. Adicionalmente, também podem ser empregadas tecnologias complementares a estes métodos, como a troca iônica e a osmose reversa, para o tratamento de soluções fixadoras mais diluídas ou soluções resultantes do processo de lavagem (SILVA, 2000).

4.2.4 Recuperação da Prata

Existem pequenas quantidades disponíveis de prata pura. A principal jazida já foi a mina de Kongsberg, na Noruega, fechada em 1956. No entanto, o homem aprendeu

a extrair a prata combinada com outros minerais, tais como o minério de cobre. As mais famosas minas de prata do mundo estão localizadas nas Américas. Apesar de ainda existirem minas produtivas, a maior parte da prata hoje manufaturada é produto secundário da mineração do chumbo (SILVA, 2000).

As indústrias de foto processamento usam compostos de prata como sendo os produtos fotossensíveis básicos que constituem a quase totalidade dos filmes e papéis fotográficos. Durante o processo de revelação desses materiais a prata é removida dos filmes e/ou papéis, sendo carregada para a solução fixadora, na forma de um complexo estável e solúvel de tiosulfato de prata (RIBEIRO *et al.*, 2005).

Essa acentuada utilização implica na descarga desse metal para o ambiente, o que representa risco para organismos aquáticos e terrestres. Essa preocupação se justifica pelo seu reconhecido potencial tóxico quando despejada sem critérios no ambiente. Além disso, o despejo de Ag na forma de resíduo representa também um prejuízo financeiro, uma vez que esse metal possui significativo valor agregado. Deve-se ainda mencionar que a prata é um dos exemplos de metais com risco de escassez, recebendo inclusive atenção dos órgãos de comunicação (BENDASSOLLI *et al.*, 2003).

Assim, existe a necessidade de se recuperar essa prata tanto pelos danos ambientais causados quanto pelo seu valor comercial. Existem vários métodos para essa recuperação. Dentre as técnicas usadas, destacam-se as que têm como base a eletrólise, as de deslocamento metálico (cimentação), bem como algumas que empregam precipitação química (RIBEIRO *et al.*, 2005). O processo de deslocamento metálico também pode ser denominado como substituição metálica ou troca metálica.

Na técnica da eletrólise, ou recuperação eletrolítica da prata, uma corrente contínua é passada pela solução rica em prata, entre um eletrodo positivo (o ânodo) e um eletrodo negativo (o cátodo). Durante este método eletrolítico, um elétron é transferido do cátodo para a prata com carga positiva, convertendo-a para o seu estado metálico, e aderindo ao cátodo. Em uma reação simultânea no ânodo, um elétron é retirado de algumas espécies químicas na solução. Na maioria das soluções ricas em prata, este elétron geralmente é proveniente do sulfito (BENDASSOLLI *et al.*, 2003).

4.2.5 Aparelhos de Raios X e Efluentes

No tocante ao número de aparelhos de Raios-X utilizados, a unidade de saúde de Planaltina de Goiás afirmou possuir 2 aparelhos, sendo 1 fixo e 1 móvel; já a unidade de Águas Lindas informou possuir apenas um aparelho de Raios-X fixo. É possível ainda estabelecer uma relação direta do número de aparelhos com o volume de efluentes gerados; quanto maior o número de aparelhos maior o volume dos líquidos de lavagem, fixador e revelador.

Segundo Grigoletto (2011), a grande quantidade associada ao volume de efluentes revelador e fixador, consumidos e conseqüentemente produzidos e descartados, demonstrados em um estudo de caso que os serviços radiológicos gastam em torno de 10 a 240 l/mês de substâncias reveladoras e um gasto geral de 7 a 200 l/mês de substâncias fixadoras.

Ainda para Grigoletto (2011), o volume de revelador e fixador utilizado pelos estabelecimentos por ele entrevistados variam conforme o tamanho das instituições de saúde e também com o número de atendimentos realizados. Isso ratifica o fato de que hospitais e centros de saúde tendem a ter um maior volume gerado de substâncias reveladora e fixadora, comparado às clínicas odontológicas, que possuem uma menor quantidade de exames realizados.

A diferença entre a quantidade gerada entre diferentes estabelecimentos aponta para um problema que pode ocorrer devido ao baixo volume gerado, que é o descarte direto na pia. Como a quantidade produzida não é demasiadamente grande, em muitos casos, ocorre o descarte feito de forma direta na pia (GRIGOLETTO, 2011).

Com a crescente demanda de exames radiográficos executados pelos centros de imagiologia, há uma ampliação na utilização dos componentes químicos revelador, fixador e água de lavagem. O que se faz indispensável um número maior de troca dessas soluções químicas devido a deterioração das mesmas para produzir-se uma melhor imagem diagnóstica. Daí, as soluções que vão sendo empregadas acabam sendo lançadas em galões específicos para acondicionamento ou, lançados diretamente no esgoto.



Figura 15: Descarte de efluentes diretamente no esgoto
Fonte: Autor da pesquisa

5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Os resultados experimentais demonstraram que foi possível recuperar a prata contida na solução de fixador radiográfico exaurida, com alguma impureza, mediante a passagem da prata em contato com o equipamento, com agitação constante. O processo descrito produziu em média 3,5 g de prata por litro de fixador tratado. Esta quantidade varia muito em função da concentração de prata no fixador e dos cuidados que devem ser tomados ao longo das diferentes etapas do processo. Este experimento pode ser desenvolvido com diferentes graus de sofisticação em função dos objetivos e das condições de trabalho disponíveis, assim o fator de escala não tem influência na eficiência do método.

Por meio deste estudo foram realizadas investigações envolvendo o uso de tecnologias e padrões para a implantação de um serviço de imagiologia. Essas investigações geraram como resultado, a proposta de um processo de trabalho para a condução de projetos de integração de melhoria no descarte de efluentes de processamento de imagens radiográficas. Da idealização dessa proposta, por sua vez, considera-se os seguintes pontos de discussão: a participação de profissionais das técnicas radiológicas nos projetos de integração e descarte de efluentes; a complexidade dos projetos de destinação final de filmes e fixadores radiográficos; a dificuldade de

aderência de novas tecnologias digitais; a disseminação da conservação do meio ambiente no Brasil; a necessidade de evolução dos processos de conhecimento e capacitação profissional e os cuidados na execução de processos de revelação e dos equipamentos de radiologia .

Pode-se questionar se os profissionais das técnicas radiológicas de hoje estão preparados para as mudanças tecnológicas que estão ocorrendo na área da radiologia, especialmente aquelas associadas à necessidade de integração, comunicação e distribuição de informações sobre saúde, dentro e fora das unidades hospitalares. O estudo realizado pôde comprovar que o esforço de conhecimento é grande, e deve ser distribuído entre todos os funcionários que participam de procedimentos nos serviços de imaginologia, sejam eles, médicos, profissionais do setor administrativo, gestores, engenheiros clínicos e profissionais técnicos e tecnólogos em radiologia.

6 PERSPECTIVAS FUTURAS

Como perspectivas futuras sugerem-se os seguintes: a validação do processo proposto por este estudo; a melhoria do processo proposto para inclusão das modalidades de reciclagem dos efluentes dos processos radiográficos; a elaboração de uma estrutura padronizada para armazenamento de filmes radiográficos para posterior retirada da prata nele existente; a elaboração de uma estrutura padronizada para elaboração de um programa de gerenciamento de rejeitos de processos radiográficos; o estudo para obtenção de informações para efeitos de processamento estatísticos diversos envolvendo os serviços de imaginologia .

Quanto à validação do processo proposto por este estudo, recomenda-se que o mesmo seja executado continuamente nas unidades de saúde, de modo a se identificar a sua necessidade em realidades de conservação ambiental. Além disso, o desenvolvimento e a construção de um equipamento como este representa uma forma incondicional de ajuste com as resoluções emitidas por órgãos de fiscalização e controle, uma vez que não haveria o descarte de soluções contaminadas no meio ambiente, o que torna viável a fabricação do equipamento sugerido neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Cristina; AREDE, Eugenia; VIEIRA, Susana. **A descoberta e a evolução do raio X**. 2008. Disponível em:

<<http://www.imagenologia.com.br/pdf/A%20Descoberta%20e%20a%20Evolu%C3%A7%C3%A3o%20do%20RX.pdf>>. Acesso em: 20/04/2018.

AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde**. RDC No 306, Brasília, 7 de dezembro de 2004. Disponível em URL: <http://e-egis.anvisa.gov.br/leisref/public/php?id=13554>. Acesso em: 9 de junho de 2018.

ANDREUCCI, R. **Iniciação à radiologia industrial**, Projeto de Extensão Universitária Uninove, 2005.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução de Diretoria Colegiada 33/2003. **Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde**. Disponível em <http://www.anvisa.gov.br/e-legis/>. Acesso em 28/07/2018.

ANVISA. **Gerenciamento dos Resíduos de Serviço de Saúde Brasil**, 2006.

Disponível em:

<http://www.anvisa.gov.br/servicosaude/manuais/manual_gerenciamento_residuos.pdf> Acesso em: 3 jun. 2018.

BAMPI, J.; SECHI M.; GONÇALVES, C.V. **Resíduos de filmes radiográficos: Vamos pensar sobre isso?** UNIVATES, 2013. Disponível em:

<https://www.univates.br/tecnicos/media/artigos/artigo_janaina_bampi.pdf>. Acesso em: 08 ago 2018.

BENDASSOLLI J. A., TAVARES G. A., IGNOTO R. F., *et al.*, “**Procedimentos para recuperação de Ag de resíduos líquidos e sólidos**”, Química Nova, v. 26, n. 4, pp. 578-581, 2003.

BONTRAGER, Kenneth L. **Tratado de Técnica Radiológica e Base Anatômica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

BOHNER, L.O.L, et al. **Biossegurança: uma abordagem multidisciplinar em contribuição à educação ambiental**. Química Nova, v.4, n4, p. 380 - 386, 2011.

BORTOLETTO, E.C., et al. **Caracterização da geração e da qualidade do efluente líquido do laboratório de raio-x da clínica odontológica do Hospital Universitário de Maringá (HUM)**. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável, 2004. Florianópolis. Anais... Florianópolis: Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável (ICTR), p. 2634-2644, 2004. Acesso em: 10 set 2018.

BORTOLETTO, E. C.; TAVARES, C. R. G.; BARROS, M. A. S. D.; et al. **Caracterização da geração e da qualidade do efluente líquido gerado no**

laboratório de raio-x da clínica odontológica do Hospital Universitário de Maringá (HUM). Anais do VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. 2005:1–6; Campinas, SP, Brasil; 2005.

BORTOLETTO, E.C. **Tratamento dos efluentes gerados no laboratório de raio-x da clínica odontológica do Hospital Universitário de Maringá (HUM)**, 136 p., Tese de Doutorado-DEQ, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Pr, 2007.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama n° 358, de 29 de abril de 2005. **Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências.** Brasília, DF: Diário Oficial da União n° 84, de 4 de maio de 2005; Seção I, p. 63–5. FERREIRA, Cássio Costa. Implantação de um Programa de Garantia da Qualidade da Imagem Radiográfica em Hospitais da Rede Pública de Aracaju – SE. Dissertação de Mestrado. **Universidade Federal de Sergipe.** Sergipe: 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução n° 306 de 7 de dezembro de 2004. **Dispõe sobre o regulamento técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde.** Brasília, DF: Diário Oficial da União, 10 de dezembro de 2004.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n. 358, de 29 de abril de 2005. **Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências.** Publicada no DOU n. 84, de 4 de maio de 2005. Seção 1, p. 63-65. Disponível em:
<http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2005_358.p df>. Acesso em: 10 out 2018.

CALDERARI, J. **Reciclagem transforma produtos em biodiesel e até em jóias.** 2008. Disponível em:
<<http://www1.folha.uol.com.br/folha/equilibrio/noticias/ult263u395169.shtml>>. Acesso em: 05/05/2018.

CARLSON, A. M. **Gerenciamento de resíduos químicos em ambientes hospitalares: Necessidades e dificuldades: estudo de caso: Hospital Universitário localizado no Estado do Rio de Janeiro [dissertação].** Rio de Janeiro, RJ: Universidade do Estado do Rio de Janeiro; 2007.

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente.** Resolução Conama n 001, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 05/05/2018.

CORRÊA, M. B. R. **Radiologia.** São Paulo: Difusão Cultural do Livro, 2010. DIAS, Reinaldo. **Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade.** São Paulo: Atlas, 2010.

EASTMAN KODAK COMPANY, **A tecnologia de recuperação da prata para instalações de processamento fotográfico,** Kodak Eastman Kodak, Publication J-227 (PB), 1999b.

ELIAS, C.; **Prata**, Lisboa, 2005
Disponível em:<<http://www.gaif.net/artigos/PrataArtRevAbril.pdf>>, acesso em: 15 jun. 2017.

FENELON, S. **A História da Radiologia no Brasil**. 2005. Disponível em:
<<http://www.imaginologia.com.br/extra/upload%20historia/A-Historia-da-Radiologia-no-Brasil.pdf>>. Acesso em: 02/05/2018.

FERNANDES, G. S.; AZEVEDO, A. C. P.; CARVALHO, A. C. P.; PINTO, M. L. C.; **Análise e Gerenciamento de Efluentes de Serviços de Radiologia**, Rio de Janeiro, 2004.
Disponível em:<www.scielo.br/pdf/rb/v38n5/a09v38n5.pdf>, acesso em: 20 jul. 2018.

FERNANDES, A. L.; COSTA, P. H. P.; ANDRADE, R. T.; et al. **Análise do teor de prata e distribuição da geração dos efluentes radiográficos das zonas leste e sul de Natal-RN**. Anais do I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica; Natal, RN, Brasil; 2006.

FERREIRA, C. C. **Implantação de um Programa de Garantia da Qualidade da Imagem Radiográfica em Hospitais da Rede Pública de Aracaju – SE. Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Sergipe. Sergipe: 2007.

GONZAGA JUNIOR, E. L.; CARVALHO, A. C. P. **Gestão da cadeia de suprimento do material de documentação no Serviço de Radiodiagnóstico do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho**. Rev Imagem. 2006;28:155–63.

GRIGOLETTO, C. J., et. al. **Situação do gerenciamento de efluentes de processamento radiográfico em serviços de saúde**. RadiolBras; v.44; p.301–305; Set/Out; 2011.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas**. 2000. Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 15/04/2018.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas**. 2008. Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 15/04/2018.

KHUNPRASERT, P. et al. **Policy concept applied to X-ray waste management in Thailand**. Clean Technologies and Environmental Policy, v. 9, p. 93–101, 2007.

KODAK. **Ficha de informações de segurança de produtos químicos**, 2010.
Revelador e Reforçador cx. bx. GBX KODAK, Fixador. Disponível em:
<<http://www.kodak.com>>. Acesso em 10 out 2018.

LUNAR, L.; SICILIA, D.; RUBIO, S.; et al. **Degradation of photographic developers by Fenton's reagent: condition optimization and kinetics for metol oxidation**. **Water Res**. 2000;34:1791–802.

MARCIEL, P.; et. al. **Biossorção de metais pesados: uma revisão**. Revista Saúde e Ciência Online, n.3, p.137-149, set-dez, 2014.

- PEQUENAS EMPRESAS & GRANDES NEGÓCIOS. 2010. **Reciclagem de radiografias vira jóias e embalagens**. Disponível em: <<http://pegntv.globo.com/Jornalismo/PEGN/0,,MUL1628545-17958,00-RECICLAGEM+DE+RADIOGRAFIAS+VIRA+JOIAS+E+EMBALAGENS.html>>. Acesso em: 10/03/2018.
- PEREIRA, V. R. **Tecnologia Radiológica e diagnóstico por imagem**. In: Nóbrega, A. I. (Org.). Volume 1. São Caetano do Sul, SP: Difusão, 2006.
- PIVA, A. M.; WIEBECK, H. **Reciclagem de Plástico: Como fazer da reciclagem um negocio lucrativo**. São Paulo: Artliber Editora, 2004.
- PISTÓIA, G. D. et al. **A imagem latente e a química do processamento radiográfico**, Saúde, v. 30 (1-2): 12-20, 2004.
- REIS, F. H. S. **Recuperação de prata de resíduos e materiais fotográficos**. USP, 2004.
- RIBEIRO, V. M.; SANTOS, R. L. C.; SOBRAL, L. G. S. **Avaliação preliminar da recuperação de prata de fixadores fotográficos e radiográficos por cementação**, XIII Jornada de Iniciação Científica – CETEM, Rio de Janeiro, RJ, 2005.
- RIBEIRO, J. A. S.; **Prata**, Brasília, 2005. Disponível em: <www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/sumariomineral2005/Prata%202005rev.doc>, acesso em 12 agost. 2018.
- SHANKAR, S.; MORE, S. V.; LAXMAN, R. S. **Recovery of Silver from waste X-Ray film by alkaline**. Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology. v. 6, p. 60– 61, 2010.
- SILVA, J. D. F. **As minas de prata da rainha câmara escura**, Informativo CRTR – 6ª Região, Porto Alegre, RS, 2000.
- SILVER F. **History of Silver**. Disponível em: <http://www.silverinstitute.org/facts/history.php>. Acesso em 15 jun. 2018.
- SOARES, F. A; LOPES, H. B. **Radiodiagnóstico: fundamentos físicos**. Florianópolis: Insular, 2003.
- SOBRAL, L. G. S.; GRANATO, M.; **Recuperação de Prata de Fixadores Fotográficos, Série Tecnologia Mineral**, DNPM, Brasília, 1984.
- TOPANOTTI, F. **Avaliação da toxicidade de revelador e fixador de radiografias provenientes de clínicas odontológicas**. [Trabalho de Conclusão de Curso]. Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Curso de Engenharia Ambiental. Criciúma, junho, 2010.
- VIALLI, A. **A Refina inova com recuperação da prata e tratamento “in loco”**. 2004. Disponível em: <<http://www.refina.com.br/gazeta.asp>>. Acesso em: 08/05/2018.

VIANNA, I. L. C. A. **Metodologia do trabalho científico**: um enfoque didático da produção científica. São Paulo: Editora E.P.U., 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php>>. Acesso em: 22 ago 2018.

VOGEL, A. I. **Química Analítica Qualitativa**. Tradução de: GIMENO, Antonio. 5ª ed. São Paulo: Mestre Jou, 1981. p. 81-104.
<http://pt.wikipedia.org>, 2008, Acesso em 12/03/2018.

Classificação Periódica dos Elementos.
Disponível em:<<http://www.tabelaperiodica.hpg.ig.com.br>>, acesso em: 15 jun. 2018.

Tabela Periódica. Disponível em:<<http://www.christus.com.br/infochristus/tabperiodica/elementos/prata.htm>>, acesso em 15 jun. 2018.