CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

CAIO NAKAVAKI DE OLIVEIRA

TRATAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS METÁLICOS UTILIZANDO AGENTES REDUTORES DE BAIXO CUSTO

CAMPINAS/SP
2017

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

CAIO NAKAVAKI DE OLIVEIRA

TRATAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS METÁLICOS UTILIZANDO AGENTES REDUTORES DE BAIXO CUSTO

Trabalho de Graduação apresentado por Caio Nakavaki de Oliveira, como pré requisito para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos, da Faculdade de Tecnologia de Campinas, elaborado sob a orientação da Profª. Drª. Nilva Aparecida Ressinetti Pedro.

CAMPINAS/SP
2017

FICHA CATALOGRÁFICA – Biblioteca Fatec Campinas – CEETEPS

O48t

OLIVEIRA, Caio Nakavaki de

Tratamento de resíduos químicos metálicos utilizando agentes redutores de baixo custo./ Caio Nakavaki de Oliveira. Orientadora: Prof. Dra. Nilva Aparecida Ressinetti Pedro. – Campinas, 2017.

40p.; 30 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Faculdade de Tecnologia de Campinas. Curso de Processos Químicos, 2017.

1. Metais pesados. 2. Prata. 3. Resíduos químicos. I. PEDRO, Nilva Aparecida Ressinetti. II. Faculdade de Tecnologia de Campinas. III. Título.

CDD 628

Catalogação na Fonte: Bibliotecária Aparecida Stradiotto Mendes – CRB8/6553

TG PQ17.1

CAIO NAKAVAKI DE OLIVEIRA

Tratamento de resíduos químicos metálicos utilizando agentes redutores de baixo custo

Trabalho de Graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Processos Químicos pelo CEETEPS/Faculdade de Tecnologia – Fatec Campinas.

Campinas, 03 de julho de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Drª. Nilva Ap. R. Pedro (Presidente)
Fatec Campinas

Prof. Dr. Fabio Aurélio Bonk (Membro)
Fatec Campinas

Prof. Ricardo Rocha Moraes (Membro)
Fatec Campinas

RESUMO

Metal pesado é um termo amplamente difundido, e apesar de não possuir uma definição teórica totalmente estabelecida acerca de sua classificação, este termo é relacionado à toxicidade destes frente aos organismos vivos. Os metais pesados são amplamente utilizados em diversas atividades do escopo profissional da química, e consequentemente, diversos experimentos para a formação de um profissional da área química envolvem sua utilização. Na FATEC-Campinas, essa situação também pode ser observada, sendo que o principal resíduo metálico gerado até o momento constitui em compostos de prata e cromo, provenientes principalmente da titulação de precipitação através do método de Mohr. Neste sentido, o presente trabalho propôs a criação de métodos de baixo custo para o reaproveitamento destes metais através do emprego de agentes redutores de baixo custo. Foi dada ênfase aos resíduos de prata, que são os mais abundantes, com maior potencial de utilização após sua recuperação, e com maior valor agregado dentre os resíduos produzidos no laboratório da FATEC-Campinas. O método experimental proposto atingiu o êxito em sua aplicação, recuperando 37,72 gramas de resíduo de prata, aonde 10 gramas passaram pelo processo redutivo, e o restante foi armazenado para uso futuro. O custo total com reagentes do projeto foi de apenas R$ 14,17, indicando sua viabilidade econômica. Através deste trabalho também se propôs a discussão de um sistema de gerenciamento de resíduos para esta instituição, algo fundamental no atual contexto mundial, onde a necessidade da preservação dos recursos naturais é algo fundamental, e todavia, deveria ser parte fundamental da formação de um futuro profissional da área química.

Palavras-Chave: Metais pesados; Prata; Resíduos Químicos.

ABSTRACT

Heavy Metal is a widespread term, and despite not having a fully established theoretical definition about its classification, this term is usually related to its toxicity towards living organisms. Heavy metals are largely used in various activities of the professional scope of chemistry, and therefore, several experiments for the formation of a professional chemical area involve their use. At FATEC-Campinas, this may also be observed, and the main metallic waste generated are silver and chromium compounds, mainly from the precipitation titration using the Mohr method. In this sense, this work proposed the creation of low cost method for the reuse of these metals through the use of low cost reducing agents. The emphasis was given to silver residues, which are the most abundant, with greater potential for use after their recovery and greater added value from the waste produced in the laboratory of FATEC-Campinas. The experimental method was successful in their application, recovering 37,72 grams of silver waste, where 10 grams submitted to the reductive process, and the remaining silver waste was stored for future use. The total spent with reagents in this project was only R$ 14,17, indicating its economic viability. Through this work it is also proposed the discussion of a waste management system for this institution, something fundamental in the current global context in which the necessity of preservation of natural resources is fundamental, and thus should also be a fundamental part of forming future chemical professionals.

Keywords: Heavy Metals; Silver; Chemical Waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Local para descarte em laboratório acadêmico de pesquisa na UNICAMP.....**14**

Figura 2. Exemplo de etiqueta padrão para identificação de resíduos.....**16**

Figura 3. Formação do açúcar redutor a partir da glicose.....**17**

Figura 4. Reação envolvida na titulação por precipitação via método de Mohr.....**18**

Figura 5. Reação de formação do indicador para titulação via método de Mohr...**18**

Figura 6. Conversão do cromato de prata em cloreto de prata **19**

Figura 7. Galões de resíduo proveniente dos experimentos com método de Mohr na FATEC-Campinas.....**20**

Figura 8. Esquema de filtração á vácuo utilizado no método.....**20**

Figura 9. Conversão do cloreto de prata em óxido de prata.....**21**

Figura 10. Evolução de gás após adição de solução de NaOH 3 mol.L^{-1} e H_2O_2 P.A.....**22**

Figura 11. Sólido formado após o aquecimento do precipitado com solução de NaOH 3 mol.L^{-1}.....**22**

Figura 12. Sólido formado exposto a luz solar diretamente.....**23**

Figura 13. Sólido formado não exposto a luz solar diretamente.....**23**

Figura 14. Sólido formado no procedimento do item 3.3, filtrado a vácuo.....**24**

Figura 15. Sólido formado no procedimento do item 3.3, após processo de secagem em estufa a 70ºC.....**24**

Figura 16. Hidrólise ácida da sacarose.....**25**

Figura 17. Redução da prata utilizando a dextrose.....**26**

Figura 18. Mecanismo proposto para redução da prata utilizando dextrose.....**27**

Figura 19. Reação de redução da prata pela dextrose.....**28**

Figura 20. Sólido obtido após processo redutivo, com pontos metálicos evidentes.....**29**

Figura 21. Precipitação de AgCl a partir de uma solução de $AgNO_3$ 0,1 mol.L^{-1} e NaCl P.A.....**31**

Figura 22. Redução do AgCl pela dextrose em meio básico.....**32**

Figura 23. Sólido obtido a partir da redução do AgCl por dextrose em meio básico.....**33**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores levantados junto a fornecedores para os reagentes utilizados..**34**

Tabela 2. Quantidade gasta dos reagentes e custo estimado para execução do projeto.....**34**

Tabela 3. Quantidade e custo estimado dos reagentes para execução do procedimento por uma equipe de laboratório em aula prática.....**35**

LISTA DE SÍMBOLOS

FATEC-Campinas	Faculdade de Tecnologia de Campinas
NBR	Norma Brasileira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
Ag^0	Prata Metálica
Ag^+	Cátion Prata(I)
nAg	Prata Metálica Nanoestruturada
Na^+	Cátion Sódio
K^+	Cátion Potássio
Cl^-	Ânion Cloreto
DNA	Ácido Desoxirribonucléico
SH	Função Orgânica Tiol
PGR	Plano de Gerenciamento de Resíduos
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
P.A.	Grau de Pureza Químico “Para Análise”
$Mol.L^{-1}$	Unidade de Concentração de Matéria por Volume
ºC	Unidade de Temperatura Graus Celsius
mL	Unidade de Volume Mililitros
L	Unidade de Volume Litros
g	Unidade de Massa Gramas
R$	Moeda Brasileira Reais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....8
   1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....8
   1.2 PROBLEMÁTICA.....8
   1.3 OBJETIVOS.....9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....10
   2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS.....10
   2.2 METAIS PESADOS.....10
   2.3 PRATA.....11
   2.4 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO E PESQUISA.....13
   2.5 REDUÇÃO DA PRATA.....16
3. METODOLOGIA.....18
   3.1 REAGENTES.....18
   3.2 CONVERSÃO DO CROMATO DE PRATA EM CLORETO DE PRATA.....19
   3.3 CONVERSÃO DO CLORETO DE PRATA EM ÓXIDO DE PRATA.....21
   3.4 OBTENÇÃO DA DEXTROSE A PARTIR DA SACAROSE.....25
   3.5 REDUÇÃO DA PRATA UTILIZANDO A DEXTROSE.....26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....30
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....37

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....39

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A degradação ambiental é um assunto de grande importância nos debates da atualidade. Tem se buscado alternativas menos agressivas ao meio ambiente, principalmente no que concerne aos processos químicos, que geralmente são vistos negativamente pela sociedade, de forma preconceituosa, como grandes poluidores ambientais. Uma das maneiras de buscar essa almejada sustentabilidade é a tentativa de reaproveitamento de alguns produtos, antes considerados resíduos, através da reciclagem propriamente dita, ou transformando-os em um novo produto utilizando-se dos processos químicos.

Metais pesados são resíduos com alto risco para o meio ambiente, seus efeitos nocivos já são conhecidos. Quando dispensados de forma inadequada no meio ambiente, causam sérios danos à biosfera. Por não se tratar de compostos biodegradáveis, eles se acumulam nos organismos e vão passando sucessivamente pela cadeia alimentar, como pôde ser observado no caso da contaminação por mercúrio na baía de Minamata no Japão conforme George (2001).

Por outro lado, o emprego de metais pesados é fundamental para a atividade química, e seu consumo é bastante elevado. A reutilização dos resíduos metálicos se torna algo cada vez mais necessário, uma vez que as reservas minerais de onde se extrai estes metais são limitadas, e o preço destes insumos se torna cada vez mais alto.

1.2. PROBLEMÁTICA

A partir da implantação do curso de tecnologia em Processos Químicos na FATEC-Campinas, no ano de 2014, iniciou-se a geração de resíduos químicos nesta instituição que num primeiro momento, possui um volume baixo, mas com o passar do tempo, este volume deverá aumentar consideravelmente, sendo, portanto, de grande importância a avaliação da implantação de um sistema de gerenciamento de resíduos químicos por parte desta instituição. Observa-se que o resíduo mais volumoso presente no laboratório é proveniente da titulação de precipitação através do método de Mohr, que utiliza soluções contendo cátions de prata e de cromo como

descrito por Baccan *et al.* (2001), e é utilizado para quantificação de ânions cloreto em uma determinada amostra.

O descarte de metais pesados se dá através de sua precipitação e envio para um aterro de classe I, como resíduo sólido, enquadrado na NBR 10004 da ABNT (2004), que dispõe sobre a classificação dos resíduos sólidos. Tal procedimento envolve custos para a destinação correta do resíduo, e não leva em conta o potencial de aproveitamento destes metais através de algum processo químico que os transforme novamente em um produto de interesse.

Neste sentido, o presente trabalho visa criar uma metodologia para o reaproveitamento de alguns resíduos metálicos gerados no laboratório de química da FATEC-Campinas, empregando métodos de baixo custo. Uma alternativa que se mostra promissora é a redução da prata utilizando dextrose como agente redutor, como descrito por Murphy, Ackerman e Heeren (1991). Através de algumas adaptações, este procedimento poderia ser incorporado como aula prática de alguma disciplina oferecida pela instituição, criando-se assim uma política sustentável para o gerenciamento de resíduo nesta instituição, e reduzindo custos com o envio de resíduos para o aterro. Os produtos obtidos através deste reprocessamento poderiam ser utilizados em outras aulas práticas ou pesquisas, inclusive para os demais cursos desta instituição, promovendo a interdisciplinaridade e a integração entre as áreas do conhecimento.

1.3. OBJETIVOS

Realizar o reprocessamento de resíduos metálicos através do uso de agentes redutores de baixo custo, gerando produtos de interesse químico e, ao mesmo tempo, reduzindo custos com a destinação adequada destes resíduos para a FATEC-Campinas.

Criar um embrião para uma política de gestão de resíduos químicos na presente instituição.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. RESÍDUOS SÓLIDOS

Resíduos sólidos são resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, conforme NBR 10004 da ABNT (2004). Essa definição também é adotada por outros órgãos, como o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA.

Essa NBR (ABNT, 2004) ainda dispõe sobre a classificação dos resíduos sólidos em 3 classes:

- Classe 1 – Resíduos Perigosos: Apresentam risco à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo tratamento e disposição especiais em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;
- Classe 2 – Resíduos Não-inertes: Não apresentam periculosidade, mas não são inertes, podendo apresentar propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.
- Classe 3 – Resíduos Inertes: são aqueles resíduos que, ao serem submetidos aos testes de solubilização normatizados pela NBR 10007 (2004), não têm nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água.

Como qualquer outro resíduo gerado, os resíduos sólidos exigem soluções adequadas para seu manejo, visando minimizar o impacto ambiental provocado por seu descarte. Ao analisarmos os resíduos sólidos, observa-se que seu manejo pode ser uma tarefa complexa em virtude da quantidade e heterogeneidade de seus componentes, bem como o crescimento das áreas urbanas, limitações dos recursos humanos, financeiros e econômicos disponíveis e da falta de políticas públicas que regulem as atividades deste setor.

2.2. METAIS PESADOS

Metal pesado é um termo amplamente empregado, que descreve a presença de alguns metais e semi-metais com alto nível de toxicidade para os seres vivos. Todavia, esta não é a maneira mais adequada de se definir, uma vez que não é algo

baseado nas características químicas de seus átomos, e tampouco existe um critério padronizado para o uso de tal definição, como descreve Duffus (2002).

Uma aproximação que pode ser feita é o fato da maioria dos metais pesados, como prata, cromo, cádmio, entre outros, pertencerem aos blocos d e f da tabela periódica, fazendo com que suas propriedades químicas sejam semelhantes, inclusive em relação aos metais pesados contidos no bloco p como o chumbo por exemplo.

A massa atômica deles é relativamente alta na maioria dos casos, e eles possuem orbitais d e f preenchidos ou semi-preenchidos, constituindo a camada de valência. Tais orbitais são difusos, e sofrem com o efeito de blindagem dos orbitais em subníveis energéticos menores, resultando em uma menor carga nuclear efetiva sobre estes orbitais e, consequentemente, uma maior polarizabilidade, que é a capacidade de distorção que uma nuvem eletrônica de um átomo tem causada por um outro átomo ou grupo ligante externo, conforme descrito por Huheey, Keiter e Keiter (1993).

Tais características ímpares destes elementos resultam em seu amplo uso não só na química clássica, mas também na química de coordenação, onde eles são os átomos centrais dos complexos, e também na química de organometálicos, onde seu emprego em ciclos catalíticos com compostos orgânicos permite a síntese de diversos novos produtos orgânicos, como por exemplo no caso descrito por Azambuja *et al.* (2016), onde se emprega o paládio como catalisador para reações de Heck, que é uma reação orgânica de acoplamento cruzado para introdução de grupos arila ou vinila em compostos olefínicos.

Neste primeiro momento, será abordado o tratamento para a prata no presente trabalho, que pode ser considerada como um metal pesado.

2.3. PRATA

A prata é um metal precioso, portanto de custo elevado. Ela possui diversas aplicações, tanto no ramo químico, quanto na indústria eletrônica, devido à sua alta capacidade de condução eletrônica, conforme Haynes (2016) descreve. Ela também é empregada na fabricação de chapas de radiografia, uma vez que seus sais possuem fotossensibilidade, na fabricação e composição de diversos fármacos, e também na fabricação de espelhos.

Maior parte de sua exploração, cerca de dois terços, está associada como subproduto da exploração de outros metais, como chumbo, cobre, ouro, entre outros, ou seja, apenas um terço dos depósitos minerais em questão possui a prata como produto principal, conforme relatado por Ribeiro (2015).

No meio ambiente, a prata ocorre nas formas metálica (Ag^0), na forma de um sólido, na forma de sais de prata, com predominância do cátion Ag^+, complexos, além da nanoprata (nAg), onde o elemento metálico se encontra em partículas num tamanho entre 1 e 100 nm conforme descreve Panyala, Peña-Méndez e Havel (2008). Como nAg, ela pode encontrar-se na forma de uma dispersão coloidal, que é um agente antimicrobiano já consolidado e empregado em todo o mundo. Estas propriedades são empregadas desde a antiguidade na medicina e desinfecção da água, conforme cita Panyala, Peña-Méndez e Havel (2008).

Apesar da sua ampla utilização, o mecanismo de ação da nanoprata nos organismos vivos não está totalmente elucidado, apesar das evidências indicarem uma interação direta do metal com a membrana celular, ou indireta, através da liberação de cátions Ag^+, conforme descrito no review de Marambio-Jones e Hoek (2010). O mecanismo de interação dos cátions Ag^+ foi estabelecido, para o caso de organismos aquáticos, por Morgan, Henry e Wood (1997), mostrando que a prata interfere no transporte de Na^+ nestes organismos, inibindo a atividade da enzima K^+Na^+ ATPase, acarretando em interferências na absorção de Na^+ e Cl^- nas guelras dos peixes, causando uma séria mortandade destes organismos.

A ação bactericida da prata ocorre através da ação dos cátions Ag^+, que ao entrar nas células causam lesões ao DNA e consequentemente, a perda da capacidade de reprodução celular. A prata, assim como o ouro, possui uma grande afinidade pelo enxofre, e se liga aos grupos SH das proteínas dessas bactérias, causando sua desnaturação. Também ocorrem inibições da atividade enzimática, assim como relatado para os peixes no parágrafo acima, gerando espécies reativas que levam a morte celular conforme descrito por Marambio-Jones e Hoek (2010). Neste sentido, as nanopartículas se mostram fundamentais para tal capacidade, pois o seu tamanho e forma influenciam na capacidade de permear a membrana celular das bactérias, e então agirem da forma indireta, aonde essa nano prata sofre a oxidação e libera Ag^+ dentro da célula.

Ao mesmo tempo em que se explora de forma benéfica tal propriedade antimicrobiana da prata, seu descarte de forma inadequada pode levar a um

desequilíbrio ambiental, pois ela causaria a morte de diversos microrganismos presentes no meio ambiente, inclusive os que são responsáveis pelo processo de desnitrificação, levando a eutrofização de ecossistemas alagados, conforme descrito por Throback *et al.* (2007).

Do ponto de vista da saúde humana, a prata não apresenta grandes riscos de forma direta, apesar da maioria dos seus sais apresentarem toxicidade. A condição mais relevante relacionada à prata em seres humanos é a argiria, aonde devido à exposição inadequada aos compostos de prata, a derme ou alguns órgãos de uma pessoa adquirem coloração azulada (DRAKE; HAZELWOOD, 2005). De qualquer forma, a superexposição aos sais de prata pode ocasionar queda de pressão sanguínea, diarréia, irritação estomacal e dificuldades respiratórias, conforme Weir (1979).

2.4. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO E PESQUISA

Um dos problemas enfrentados na atualidade por instituições acadêmicas que trabalham com ensino e pesquisa na área química é a disposição final dos resíduos decorrentes de suas atividades nos laboratórios. Os resíduos normalmente são segregados de duas formas principais, conforme seu estado físico (líquido ou sólido).

Diferentemente dos resíduos gerados por atividades industriais, os resíduos gerados em laboratórios acadêmicos possuem um volume muito menor, o que de certa forma, pode levar a errônea conclusão de que o gerenciamento de resíduos nestas instituições é mais simples do que em uma indústria. O grande ponto é que os resíduos gerados possuem uma grande variedade de espécies, dificultando na padronização e tratamento dos mesmos, tornando a criação de uma política de gerenciamento de resíduos químicos nestas instituições algo realmente desafiador.

Neste sentido, algumas ações pontuais vêm sendo implantadas em algumas universidades pelo Brasil, como por exemplo, o Plano de Gerenciamento de Resíduos (PGR) do Instituto de Química da UNICAMP (FERREIRA, 2012). Através dele, foi criado um padrão para a disposição e tratamento dos diversos resíduos gerados nesta instituição, conforme as legislações vigentes.

Através deste plano, podemos observar que a correta destinação dos resíduos gerados por estas instituições também devem ser consideradas como parte

da formação de um profissional da área química, uma vez que todos os profissionais desta área terão que lidar com tal assunto em algum momento da sua carreira. A displicência com que o assunto é tratado por alguns profissionais é de certa forma um dos motivos pelo qual a percepção pela população em relação à ciência química é sempre negativa, conforme lembrado por Gerbase *et al.* (2005). Na Figura 1, ilustra-se um local de descarte de resíduos em um laboratório de pesquisa acadêmica da UNICAMP. Pode-se observar que existem os recipientes para descarte de resíduos líquidos, bem como pra resíduos sólidos a direita.

Figura 1. Local para descarte em laboratório acadêmico de pesquisa na UNICAMP

Fonte: Próprio autor

Conforme cita Jardim (1998), os resíduos podem ser classificados primariamente como ativo, que é o resíduo gerado de forma contínua através das atividades institucionais, e o passivo, que compreende o resíduo estocado, não caracterizado, anterior a implantação de qualquer plano de gerenciamento de resíduos. Para algumas instituições, o passivo pode compreender uma parcela realmente considerável do resíduo presente, devido a não existência do plano de gerenciamento de resíduos.

Após a definição do resíduo passivo e ativo, a próxima etapa a ser avaliada no gerenciamento de resíduos é a possibilidade e viabilidade da reciclagem do resíduo, o que é um dos pontos primordiais do presente trabalho. Através dos

métodos propostos, espera-se a criação de um procedimento para reciclagem da prata, um metal pesado de alto valor agregado, de forma viável, com um procedimento simples e de baixo custo.

A inertização dos resíduos também é algo que deve ser previsto em um plano de gerenciamento de resíduos, ou seja, resíduos muito reativos, ou voláteis, devem ser tratados de forma que sua estocagem e envio se dêem da forma mais segura possível. Desta forma, uma das maneiras de facilitar este trabalho é realizar uma segregação dos resíduos conforme suas características físico-químicas. Uma das maneiras propostas por Ferreira (2012) para realização desta tarefa consiste na separação pela natureza do composto majoritário do resíduo, que normalmente é o solvente utilizado. Separa-se então, no caso dos líquidos, em resíduos não clorados, aonde o componente majoritário normalmente é formado por éteres, cetonas, alcoóis e hidrocarbonetos; resíduos clorados, aonde o componente majoritário é formado por haletos de carbono, como o clorofórmio, por exemplo; nitrogenados, aonde os componentes majoritários são aminas ou amidas, como a trimetilamina; sulfurados, compostos por compostos orgânicos como mercaptanas e sulfóxidos; e por fim, os óleos, como óleo de silicone utilizado em banhos, óleos de bombas, entre outros.

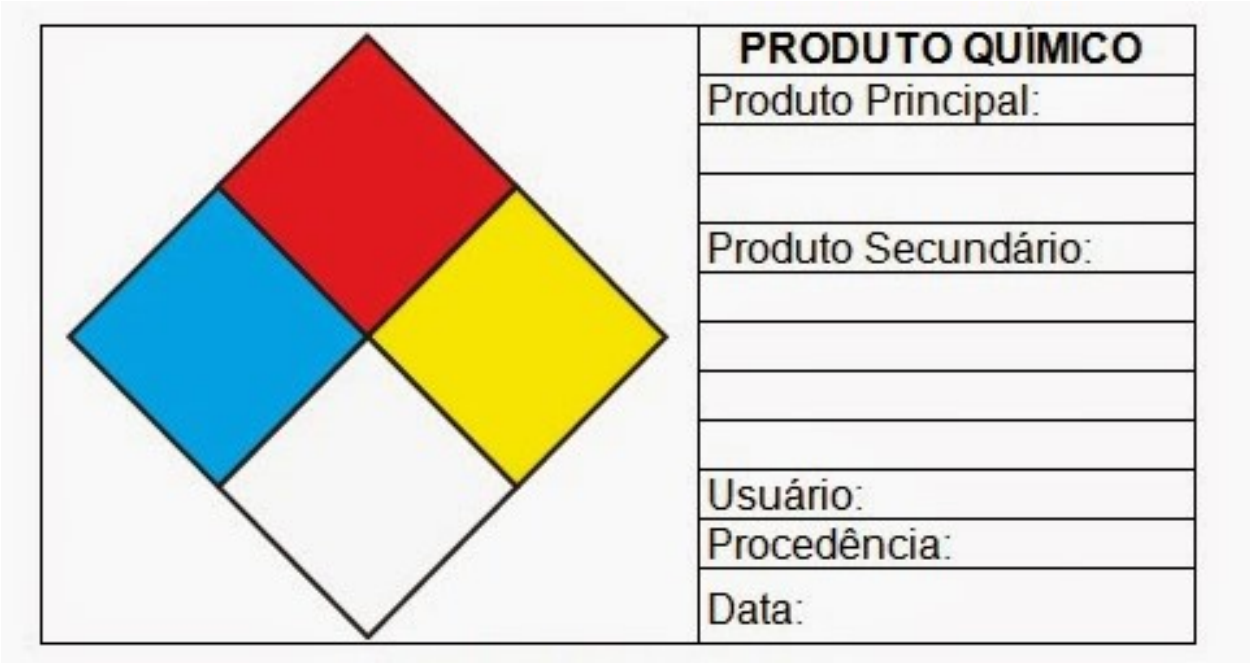
No caso dos resíduos não clorados, clorados, nitrogenados e sulfurados, existe a segregação devido ao potencial de formação de compostos corrosivos durante sua incineração, bem como componentes que provocam a chuva ácida, sendo assim diferentes os equipamentos que realizam sua incineração, com filtros em sua saída de gases. Os óleos são enviados para usinas de tratamento, e não são incinerados.

Os resíduos sólidos também devem ser segregados conforme sua origem segundo Ferreira (2012). Devem ser separados em sólidos orgânicos e metais pesados, que é o caso da prata. Os sólidos orgânicos são incinerados, e suas cinzas seguem para um aterro classe I, enquanto os metais seguem direto para o aterro classe I.

Para implantação de um plano de gerenciamento de resíduos, Jardim (1998) também levanta a necessidade do apoio institucional irrestrito com o mesmo, bem como a definição de responsabilidades, aonde o gerador do resíduo torna-se o responsável por ele, seja o tratamento, ou no que eventualmente possa ocorrer devido à negligência com o resíduo. Uma das maneiras de otimizar tal procedimento

é o uso de etiquetas padronizadas para identificação dos resíduos, conforme Figura 2.

Figura 2. Exemplo de etiqueta padrão para identificação de resíduos.



Fonte: <http://www.ccsc.usp.br/residuos/rotulagem/downloads/etiq_prod.doc>, acesso em 02/03/2017

Na FATEC-Campinas, uma instituição com menos de três anos de existência, ainda não há um plano de gerenciamento de resíduos implantado, e os resíduos ainda não possuem uma destinação adequada. Isso ainda não configura um problema para a instituição, devido ao baixo número de alunos, e consequentemente, de resíduo gerado, porém em médio prazo, isso pode se tornar um problema, criando um passivo que pode dificultar a implantação do plano de gerenciamento de resíduos.

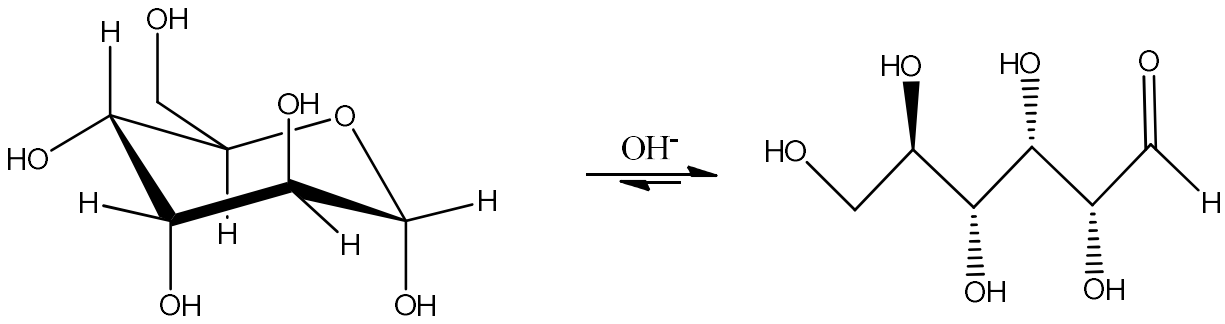
2.5. REDUÇÃO DA PRATA

Existem diversos mecanismos oxirredutivos conhecidos inerentes à prata como descritos por Vogel (1981), entre outros inúmeros autores. Um desses mecanismos é utilizado na identificação de aldeídos, e é chamado teste de Tollens, onde na presença do aldeído, a prata sofre redução, e se deposita no vidro, formando um espelho de prata. A prata está dissolvida na solução na forma de um complexo catiônico, a diaminoprata(I), compondo o reagente de Tollens.

Porém, ao invertermos o alvo e, ao invés de identificar o aldeído, nosso objetivo seja provocar a redução da prata, podemos imaginar que através da adição de um aldeído a uma solução contendo sais de prata, podemos realizar a sua redução para prata metálica, e assim reciclar um produto de alto valor agregado. Tal método foi descrito por Murphy, Ackerman e Heeren (1991).

Como alternativa ao aldeído necessário para a redução, utiliza-se a dextrose, ou glicose. Na presença de um meio alcalino, ela tende a formar um açúcar redutor como descrito por Lehninger (1976), e demonstrado na Figura 3. Este açúcar redutor possui o grupo aldeído fora do ciclo, tornando-o potencialmente reativo.

Figura 3. Formação do açúcar redutor a partir da glicose.



Fonte: Próprio autor

3. METODOLOGIA

3.1 REAGENTES

Pretende-se utilizar o resíduo proveniente das aulas práticas onde se realiza a quantificação de cloretos através da titulação de precipitação através do método de Mohr. As reações estão ilustradas nas Figuras 4 e 5.

Figura 4. Reação envolvida na titulação por precipitação via método de Mohr.

$$NaCl_{(aq)} + AgNO_{3(aq)} \rightarrow AgCl_{(s)} + NaNO_{3(aq)}$$

Fonte: Próprio autor

Figura 5. Reação de formação do indicador para titulação via método de Mohr.

$$K_2CrO_{4(aq)} + 2\,AgNO_{3(aq)} \rightarrow AgCrO_{4(s)} + 2\,KNO_{3(aq)}$$

Fonte: Próprio autor

Com o intuito de reduzir ao máximo os custos inerentes ao projeto, maioria dos reagentes utilizados poderá ser proveniente de origem comercial, como por exemplo, o ácido clorídrico, que poderá ser o ácido muriático, que nada mais é que o ácido clorídrico em grau técnico, com concentração na faixa de 30-34% em título. O hidróxido de sódio utilizado também poderá ser de origem comercial, que possui um teor de cerca de 70% de hidróxido de sódio. A dextrose pode ser proveniente do açúcar refinado comercial, que é composto majoritariamente por sacarose, que é um glicídio formado por uma molécula de glicose e uma de frutose. O laboratório da FATEC-Campinas possui grande quantidade deste devido às aulas da disciplina de Fermentação e Bioquímica. Através do processo de hidrólise ácida, já se obtém a dextrose. O fundamental nesse processo é que se mantenha o meio ácido conforme descreve Junk e Pancoast (1973), então teoricamente poderia ser utilizada uma solução de ácido clorídrico diluída.

Os reagentes utilizados na parte experimental do presente projeto foram o ácido clorídrico 6 $mol.L^{-1}$, hidróxido de sódio P.A., peróxido de hidrogênio P.A. e dextrose P.A..

3.2 CONVERSÃO DO CROMATO DE PRATA EM CLORETO DE PRATA

Como no método de Mohr ocorre a formação de cromato de prata além do cloreto de prata, é necessário realizar a conversão deste cromato de prata em cloreto de prata, para que não haja interferência do cromo no tratamento proposto para a prata, e ele possa ter um tratamento adequado.

Como o cloreto de prata é um sal mais estável que o cromato de prata do ponto de vista energético, ao adicionarmos um excesso de cloreto em meio ácido haverá uma tendência de conversão do cromato de prata em cloreto de prata (ROSENBROCK, 2009). Tal processo é ilustrado pela reação apresentada na Figura 6.

Figura 6. Conversão do cromato de prata em cloreto de prata.

$$2\,Ag_2CrO_{4\ (s)} + 4\,HCl_{\ (aq)} \rightarrow 4\,AgCl_{\ (s)} + H_2Cr_2O_{7\,(aq)} + H_2O$$

Fonte: Próprio autor

Para tal processo, propõe-se então a adição de uma solução contendo ácido clorídrico, sob agitação e aquecimento, para promover a reação, e a posterior separação do sobrenadante, que deve conter resíduos de cromo. Com o intuito de se obter uma maior eficiência, este processo pode se repetir por duas vezes. No procedimento descrito por Felisberto *et al.* (2008) utilizou-se uma solução com concentração de 10% em título de ácido clorídrico, o que poderá ser seguido também no presente trabalho.

Havia cerca de 18 litros do resíduo alvo nos laboratórios da FATEC-Campinas, divididas em 4 galões, conforme a Figura 7. As soluções foram acidificadas com ácido clorídrico, para promover a total precipitação da prata. Em seguida, foram filtradas á vácuo, utilizando papel de filtro com poro de 14 micrometros, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 7. Galões de resíduo proveniente dos experimentos com método de Mohr na FATEC-Campinas.

Fonte: Próprio autor

Figura 8. Esquema de filtração á vácuo utilizado no método.

Fonte: Próprio autor

O precipitado obtido, para 3 dos galões, apresentou coloração branca, como pode ser observado na Figura 8 da página 20, característica do cloreto de prata, enquanto o de um dos galões apresentava coloração amarelada, o que indicaria presença de cromato de prata. Conforme o procedimento descrito por Felisberto *et al.* (2008), realizou-se a lavagem dos precipitados com a adição de uma solução 10% de ácido clorídrico. Porém, diferentemente do esperado, o sólido tornou-se verde claro, amarelado. Possivelmente, havia contaminantes diferentes dos esperados presentes no resíduo, o que pode ter ocasionado uma reação concorrente, desconhecida.

3.3 CONVERSÃO DO CLORETO DE PRATA EM ÓXIDO DE PRATA

Com o intuito de melhorar a solubilidade do cloreto de prata, e desta forma aumentar a reatividade e consequentemente a eficiência do processo, deve se adicionar ao precipitado obtido uma solução de hidróxido de sódio de concentração 3 mol.L^{-1}, e manter sob agitação e aquecimento a 100ºC, conforme descrito por Rosenbrock (2009). A reação inerente ao presente processo está contida na Figura 9.

Figura 9. Conversão do cloreto de prata em óxido de prata.

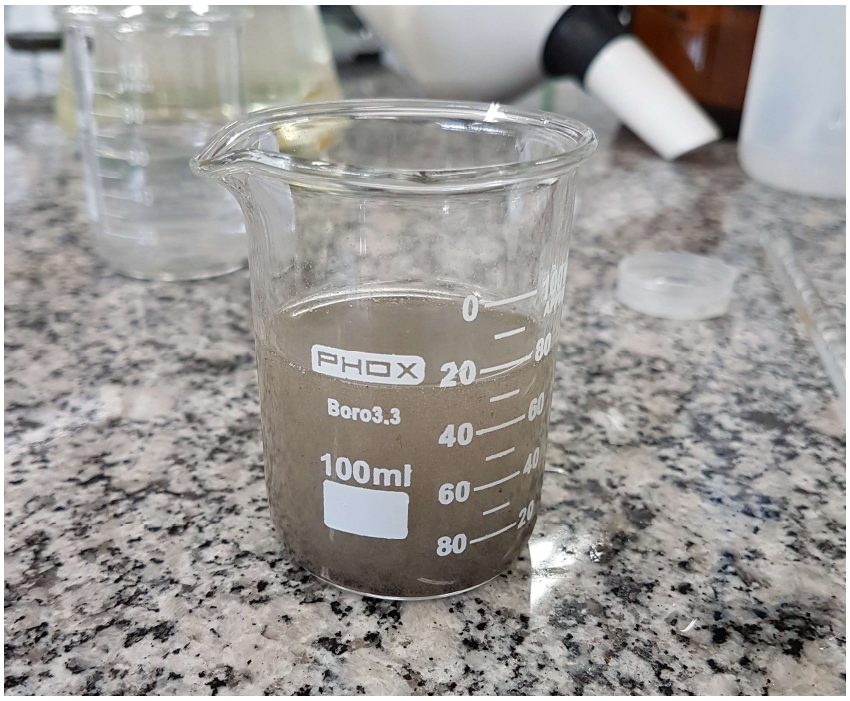
$$2\,AgCl_{(s)} + 2\,NaOH_{(aq)} \rightarrow Ag_2O_{(s)} + 2\,NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

Fonte: Próprio autor

Após a conclusão do processo, deve separar o precipitado, que é o produto de interesse em questão.

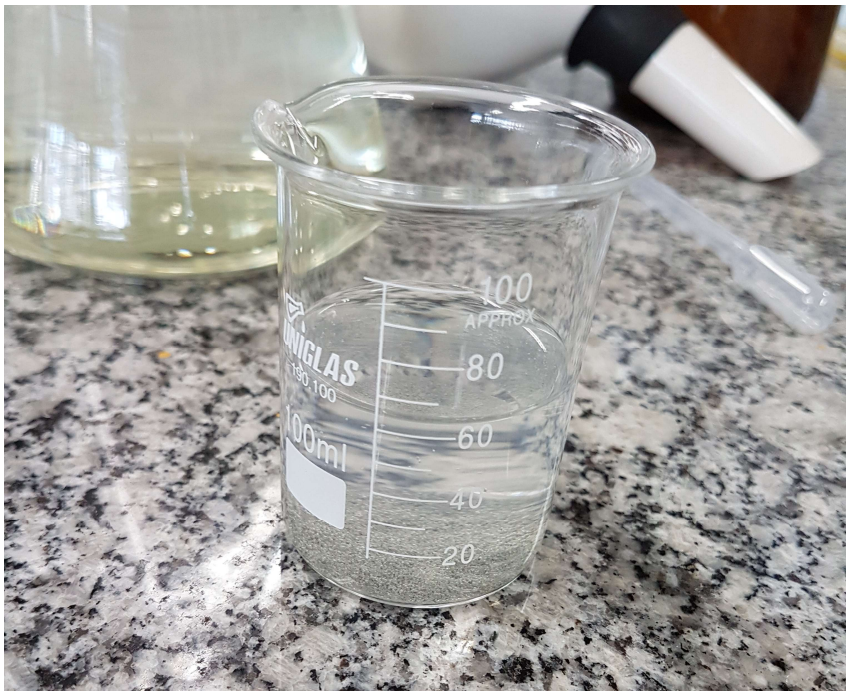
Como o sólido obtido na etapa anterior possuía características diferentes das esperadas, foram realizados testes, com a adição de peróxido de hidrogênio P.A. em meio ácido, na tentativa de solubilizar o contaminante, mas sem sucesso. Adicionou-se então a solução de 3 mol.L^{-1} de hidróxido de sódio para realizar o procedimento descrito por Rosenbrock (2009), juntamente com o peróxido de hidrogênio, devido a presença do contaminante. Houve uma imediata liberação de gás da solução, conforme a Figura 10, e o sólido tornou-se cinza esverdeado, conforme Figura 11. Ele foi colocado sob aquecimento a 100ºC por 30 minutos, com a solução de hidróxido de sódio 3 mol.L^{-1}, sob agitação.

Figura 10. Evolução de gás após adição de solução de NaOH 3 mol.L^{-1} e H_2O_2 P.A..



Fonte: Próprio autor

Figura 11. Sólido formado após o aquecimento do precipitado com solução de NaOH 3 mol.L^{-1}.

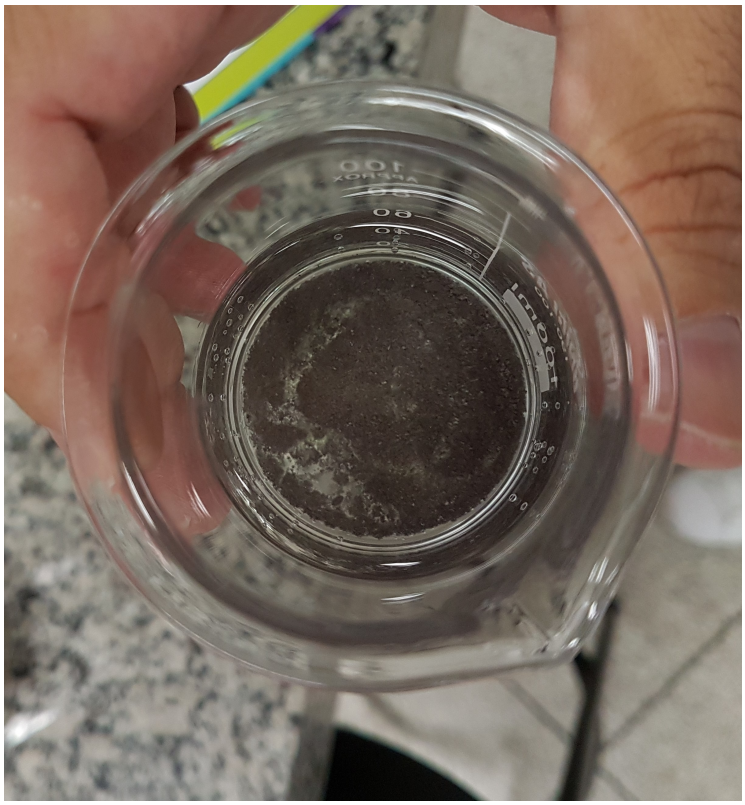


Fonte: Próprio autor

Curiosamente, o sólido obtido apresentou fotossensibilidade, verificada após deixá-lo sobre a bancada em um local com incidência direta da luz solar. O sólido escureceu até o tom de cinza escuro na parte superior, conforme Figura 12,

enquanto na parte inferior do béquer, que não foi exposta a luz, ele permaneceu cinza esverdeado, conforme Figura 13.

Figura 12. Sólido formado exposto a luz solar diretamente.



Fonte: Próprio autor

Figura 13. Sólido formado não exposto a luz solar diretamente.

Fonte: Próprio autor

O tratamento foi realizado para todo o precipitado, sendo este filtrado á vácuo para sua separação, conforme Figura 14. Após a filtração ele foi seco em estufa a 70ºC por 24 horas, apresentando o aspecto demonstrado na Figura 15. O sólido obtido foi pesado após a secagem, apresentando uma massa total de 37,72 gramas. Ele foi acondicionado em 2 tubos Falcon de 50 mL de volume.

Figura 14. Sólido formado no procedimento do item 3.3, filtrado a vácuo.

Fonte: Próprio autor

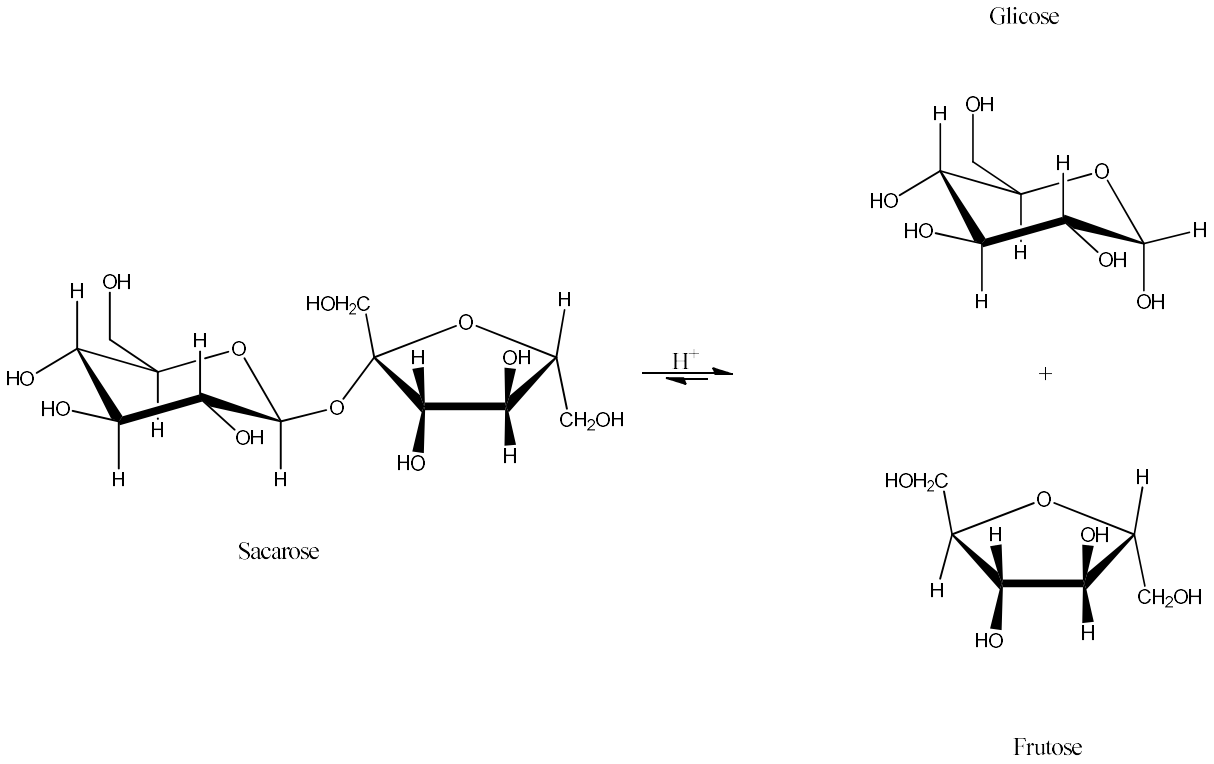
Figura 15. Sólido formado no procedimento do item 3.3, após processo de secagem em estufa a 70ºC.

Fonte: Próprio autor

3.4 OBTENÇÃO DA DEXTROSE A PARTIR DA SACAROSE

A sacarose não é um açúcar redutor. Através da sua hidrólise, é possível separá-la em uma molécula de glicose e uma de frutose, assim obtendo um açúcar redutor, que é o alvo de interesse do presente trabalho. A reação de hidrólise está descrita na Figura 16.

Figura 16. Hidrólise ácida da sacarose.



Fonte: Próprio autor

O procedimento consiste na hidrólise ácida da sacarose, utilizando uma solução de ácido clorídrico. Tal processo é bastante difundido e muito conhecido, mas sua eficiência deve ser avaliada, uma vez que a hidrólise ácida pode levar a formação de produtos não desejáveis, como o furano, por exemplo, reduzindo a eficiência do processo como um todo.

Devido à falta de tempo, e dificuldade do procedimento, ele não foi realizado no presente trabalho, utilizando-se dextrose P.A., que também possui um baixo custo.

3.5 REDUÇÃO DA PRATA UTILIZANDO A DEXTROSE

Com o intuito de obter a prata metálica, propõe-se a redução da prata utilizando como agente redutor a dextrose contida no açúcar comercial. Tal processo é análogo ao teste de Tollens para identificação de aldeídos. Desta forma, deve-se utilizar um meio básico, para formação do açúcar redutor, como mostrado na Figura 3, na página 17. No procedimento descrito por Rosenbrock (2009), adiciona-se uma solução 1 mol.L^{-1} de hidróxido de sódio ao precipitado, juntamente com a dextrose, e agitação a 70ºC. A reação evidencia-se pelo escurecimento da solução devido à oxidação do açúcar e formação de material granulado, que corresponde à prata metálica em si. Como ela não está totalmente dissolvida na solução, não ocorre o mesmo processo observado no teste de Tollens, onde há a formação de um filme no vidro, sendo assim, possível segregar a prata através de uma filtração, por exemplo. A equação global para a reação está descrita na Figura 17.

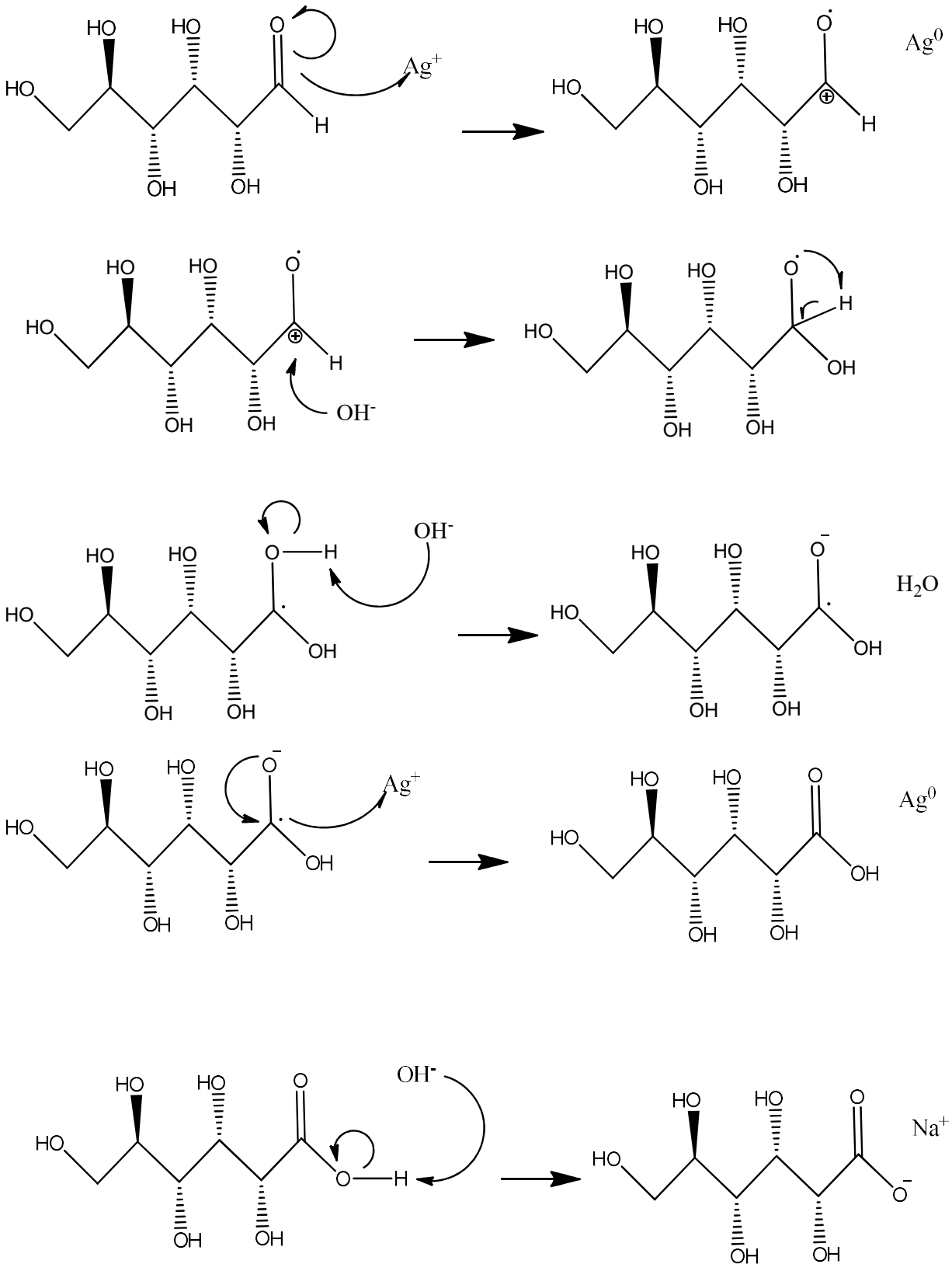
Figura 17. Redução da prata utilizando a dextrose.

$$Ag_2O_{(s)} + 2\,NaOH_{(aq)} + C_6H_{12}O_{6\,(aq)} \rightarrow 2\,Ag_{(s)} + C_6H_{11}O_7Na_{(aq)} + NaCl_{(aq)} + 2\,H_2O_{(l)}$$

Fonte: Próprio autor

Como pode ser observado na Figura 17, cada mol de açúcar reduz dois de prata. Tal fenômeno ocorre via cisão homolítica da ligação do carbono-oxigênio presente na carbonila. Com o intuito de enriquecer o presente trabalho, foi proposto um mecanismo reacional para todo o processo oxirredutivo através da dextrose, que está contido na Figura 18.

Figura 18. Mecanismo proposto para redução da prata utilizando dextrose.



Fonte: Próprio autor

Após a reação, o precipitado granulado obtido é lavado diversas vezes com água gelada, até apresentar um aspecto incolor, obtendo-se a prata metálica propriamente dita. A partir deste produto foi possível realizar testes qualitativos para confirmar a composição do precipitado.

O procedimento foi realizado com o sólido obtido na etapa anterior, após a secagem. Utilizou-se uma proporção de 5 gramas do sólido de prata, com 2 gramas de hidróxido e 4 gramas de dextrose. A solução foi aquecida sob agitação a 70ºC, por 15 minutos. A solução tornou-se escura durante o processo, conforme a Figura 19, e apresentou odor de caramelo, evidenciando a oxidação da dextrose, e consequentemente, a ocorrência da reação.

Figura 19. Reação de redução da prata pela dextrose.

Fonte: Próprio autor

O precipitado obtido foi filtrado a vácuo. Ele apresentou uma coloração acinzentada mais clara, com pontos prateados evidentes por todo o precipitado, conforme a Figura 20, evidenciando claramente o sucesso da reação.

Figura 20. Sólido obtido após processo redutivo, com pontos metálicos evidentes.

Fonte: Próprio autor

Infelizmente, não houve tempo hábil para a realização da lavagem do sólido obtido após as reduções, mas o sólido obtido está armazenado no laboratório da FATEC-Campinas, para futura utilização.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todo o resíduo passivo relacionado à prata presente no laboratório da FATEC-Campinas foi tratado. Obteve-se 37,72 gramas de sólido correspondente ao resíduo de prata, proveniente de 18 litros de resíduo.

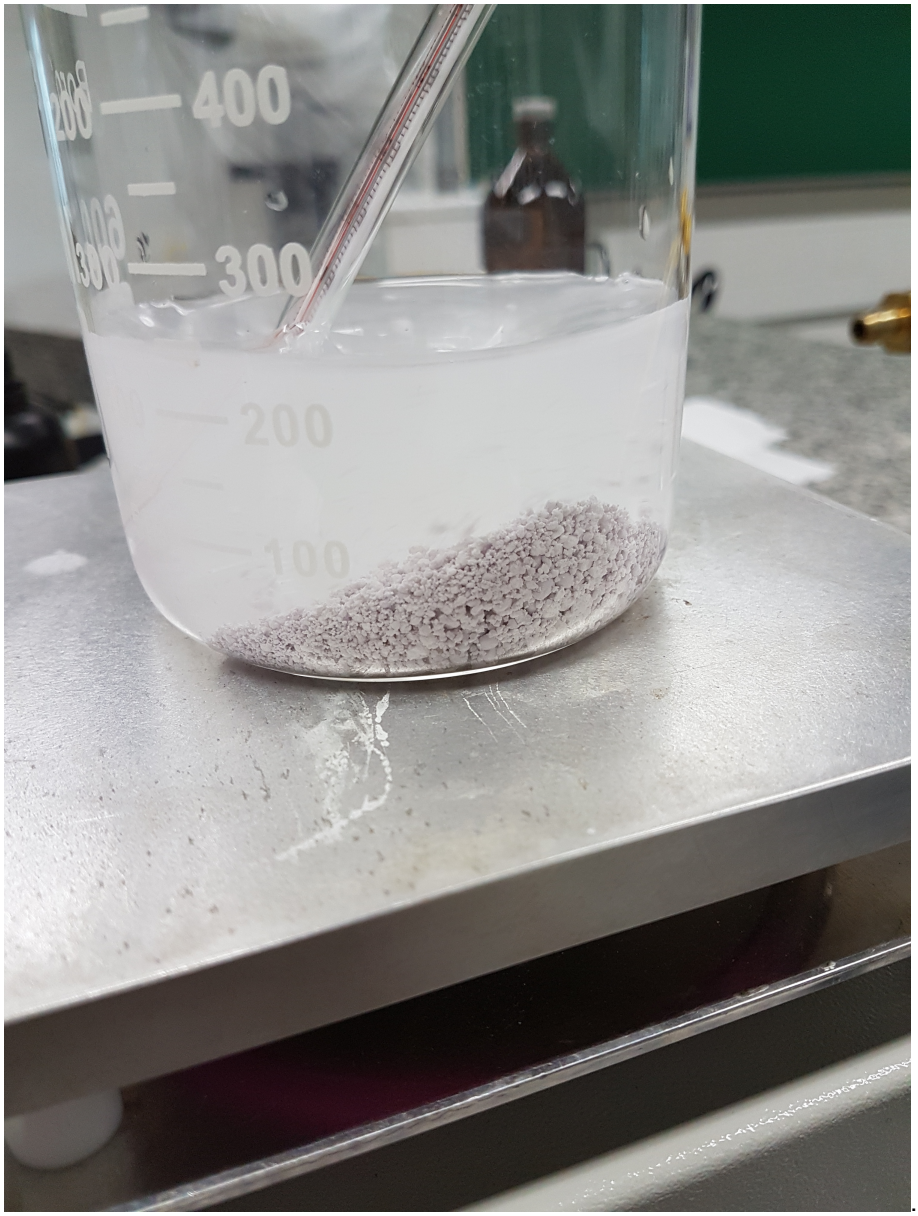
Foram encontrados alguns problemas durante a execução do tratamento. Primeiramente, a questão da coloração inesperada do resíduo após o tratamento com ácido clorídrico, que visava retirar o cromato de prata presente no resíduo. Ficou clara a presença de contaminantes desconhecidos nas soluções de origem, o que leva a crer que se deve reforçar pelos professores a importância do descarte de forma correta, nos frascos indicados para os alunos que estão em aula prática. Isso é fundamental para a implantação de um plano de gerenciamento de resíduos, uma vez que um resíduo que contem componentes desconhecidos pode ser algo significativamente perigoso para todos no laboratório, em caso da ocorrência de reações paralelas.

A questão da coloração inesperada trouxe certa dificuldade ao trabalho, uma vez que não era possível realizar nenhuma caracterização do sólido obtido nos laboratórios da FATEC-Campinas, mas apesar disso, as etapas se mostraram de fácil execução.

Na etapa de conversão do cloreto de prata em óxido de prata, descrita no item 3.3, observou-se que após a adição do peróxido de hidrogênio ao meio básico, a reação esperada ocorreu, indicando que o possível contaminante que se fez presente na etapa anterior pode ter se depositado na superfície do cloreto de prata obtido, e foi eliminado através de sua oxidação pelo peróxido de hidrogênio. A reação com o peróxido foi evidenciada pela liberação de gás, mostrada na Figura 10 da página 21.

Como havia dúvidas se o contaminante havia sido removido do sólido em questão, realizou-se um procedimento paralelo. Através de uma solução de nitrato de prata 0,1 $mol.L^{-1}$ velha do laboratório da FATEC-Campinas, precipitou-se a prata com a adição de cloreto de sódio a 200 mL da solução, conforme Figura 21.

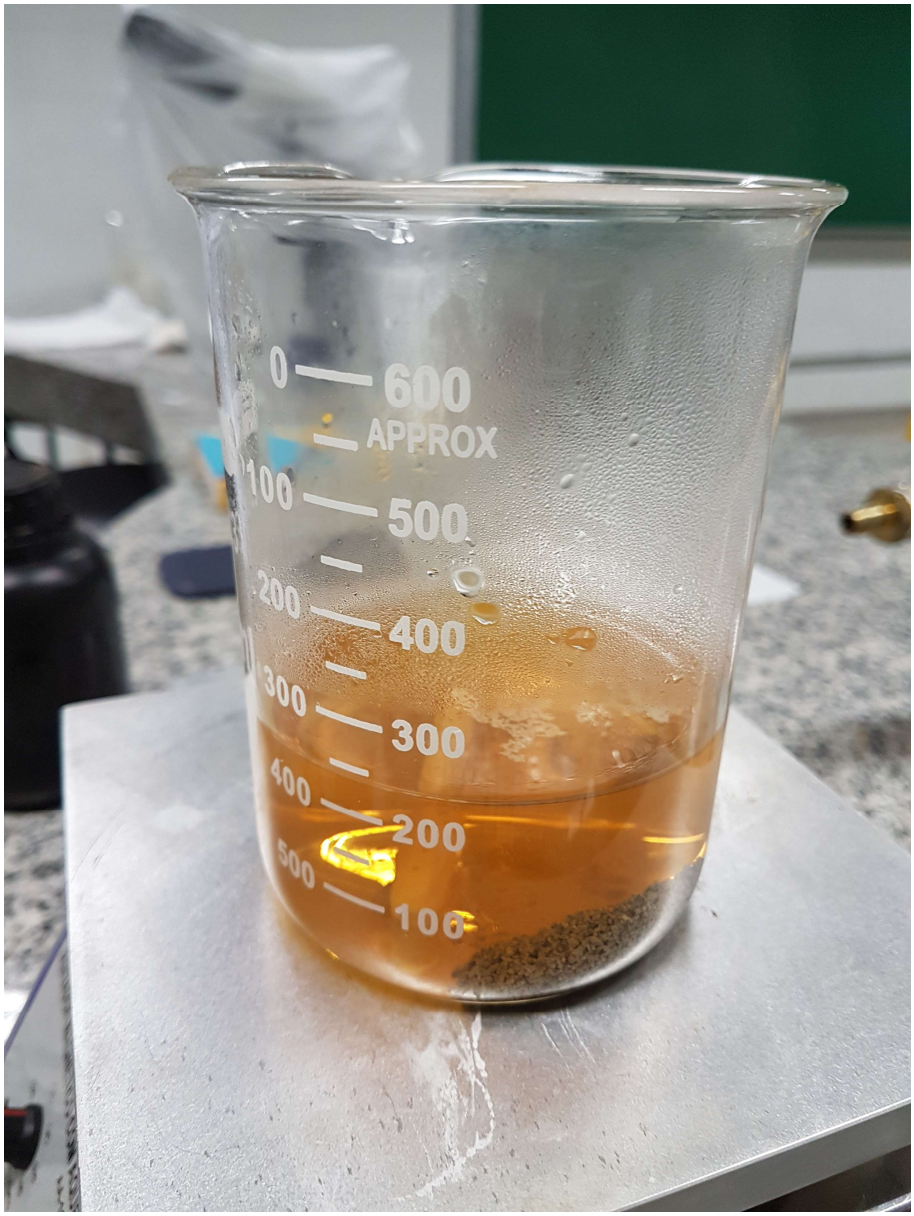
Figura 21. Precipitação de AgCl a partir de uma solução de $AgNO_3$ 0,1 $mol.L^{-1}$ e NaCl P.A.



Fonte: Próprio autor

A essa solução, adicionou-se 1 grama de hidróxido de sódio P.A. e 3 gramas de dextrose P.A., e colocou-se sob aquecimento a 70ºC e agitação, de forma a simular a etapa de redução da prata descrita no item 3.5 do presente trabalho. Observou-se que a reação se deu de forma muito semelhante, como pode ser observado na Figura 22

Figura 22. Redução do AgCl pela dextrose em meio básico.



Fonte: Próprio autor

O sólido obtido foi então filtrado. Ao compararmos com o sólido obtido no procedimento que utilizou o resíduo, podemos concluir que a presença do contaminante no resíduo foi totalmente suprimida pelo tratamento com peróxido de hidrogênio realizado, uma vez que ambos possuem exatamente a mesma cor e aspecto. Tal fator é importante na aferição da eficiência do método proposto, uma vez que a presença destes contaminantes colocou uma variável incógnita ao sistema. O sólido obtido a partir do método paralelo pode ser verificado na Figura 23, enquanto o sólido obtido a partir do resíduo pode ser verificado na Figura 20 da página 28.

Figura 23. Sólido obtido a partir da redução do AgCl por dextrose em meio básico.

Fonte: Próprio autor

Através do procedimento de controle realizado, também pode-se levantar outra questão. A etapa proposta no item 3.3 do presente projeto mostra-se desnecessária, uma vez que a redução também ocorre de forma efetiva sobre o cloreto de prata, podendo assim ser suprimida em tratamentos futuros, economizando reagentes, tempo e energia.

Um dos objetivos destacados no presente trabalho era em relação à necessidade do tratamento realizado possuir um baixo custo. Desta forma, estimaram-se os valores gastos para a execução do projeto. Através da consulta a fornecedores, obteve-se o custo dos reagentes utilizados no projeto, contidos na Tabela 1.

Tabela 1. Valores levantados junto a fornecedores para os reagentes utilizados.

Reagente	Quantidade	Valor (R$)
Ácido Clorídrico Comercial 6 mol.L^{-1}	1 L	6,70
Hidróxido de Sódio P.A. 99%	1000 g	15,96
Hidróxido de Sódio Comercial 97%	1000 g	7,90
Peróxido de Hidrogênio P.A. 30%	1 L	15,78
Dextrose Anidra P.A.	500 g	20,00
Nitrato de Prata P.A.	100 g	219,46

Fonte: Próprio autor

A partir das anotações no caderno de laboratório, pode-se estimar quanto foi gasto de cada reagente durante a execução do projeto, e o custo disso. Estas informações estão contidas na Tabela 2.

Tabela 2. Quantidade gasta dos reagentes e custo estimado para execução do projeto.

Reagente	Quantidade Gasta	Custo (R$)
Ácido Clorídrico Comercial 6 mol.L^{-1}	300 mL	2,01
Hidróxido de Sódio P.A. 99%	35 g	0,56
Peróxido de Hidrogênio P.A. 30%	250 mL	3,95
Dextrose Anidra P.A.	30 g	1,20
Nitrato de Prata P.A.	3,4 g	7,46

Fonte: Próprio autor

Através da Tabela 2, pode se observar que o projeto atingiu seu objetivo de realizar-se com um custo muito baixo. O custo total de reagentes foi de apenas R$ 14,17, aonde tratou-se cerca de 18 litros de resíduo, ou seja, menos de 1 Real por litro de resíduo tratado. Ao aproximarmos da massa de prata recuperada, que foi de 37,72 gramas, podemos estimar que gasta-se cerca de R$ 0,38 por grama de prata recuperada, sendo assim, podemos avaliar que o presente projeto obteve êxito em seu objetivo. O gasto de nitrato de prata corresponde à solução utilizada para realizar um teste de controle após o procedimento, para verificação da eficiência da redução pela dextrose, não fazendo parte do tratamento do resíduo em si. Considerando apenas os gastos inerentes ao tratamento dos resíduos, o custo total do projeto foi de apenas R$ 6,71.

Outro objetivo do projeto baseava-se na proposição de um método de tratamento que pudesse ser utilizado nas aulas práticas nos laboratórios de química na FATEC-Campinas. Um ponto importante a ser considerado neste sentido é o tempo que o experimento gasta para ser realizado. A parte mais demorada no procedimento foi à acidificação e filtração da solução inicial juntamente com o cromato de prata, que necessita a lavagem do precipitado obtido com ácido, o que acarreta na realização de duas etapas de filtração. Para esta etapa utilizou-se cerca de 1 hora. Já na etapa da redução, como observou-se anteriormente, a etapa de conversão do cloreto de prata em óxido de prata pode ser desconsiderada para futuros tratamentos, o que economiza tempo e reagente. Partindo que a redução do cloreto de prata pela dextrose leva 15 minutos de reação, mais o tempo necessário para filtração, pode-se concluir que o tempo gasto para realização do presente procedimento por uma equipe de laboratório em uma aula prática será inferior ao tempo de aula, de cerca de uma hora e quarenta minutos, sendo, portanto, adequado para uso em aulas práticas, atendendo a outro objetivo proposto inicialmente pelo presente trabalho.

O custo do procedimento também deve ser levado em consideração ao se planejar uma aula prática. Como no laboratório da FATEC-Campinas existem 9 equipes de laboratório possíveis, podemos aproximar os valores para o tratamento de cerca de dois litros de resíduo por equipe. Desta forma, os custos e quantidades que serão utilizadas por cada equipe foram descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Quantidade e custo estimado dos reagentes para execução do procedimento por uma equipe de laboratório em aula prática.

Reagente	Quantidade Gasta	Custo (R$)
Ácido Clorídrico Comercial 6 $mol.L^{-1}$	35 mL	0,23
Hidróxido de Sódio Comercial 97%	4 g	0,03
Dextrose Anidra P.A.	4 g	0,16

Fonte: Próprio autor

Observa-se que o custo total com reagentes por equipe de laboratório em uma aula prática seria de apenas R$ 0,42, o que novamente leva a crer no êxito do presente trabalho proposto.

Ao analisarmos custos, também se deve levar em consideração a quantia de resíduos sólidos que deixarão de ser enviados para aterro classe I ou incineração, o que também geraria custos para a presente instituição.

Através do presente trabalho também pode se iniciar a discussão sobre a implantação de um plano de gerenciamento de resíduos na FATEC-Campinas. Como cita Jardim (1998), a inertização dos resíduos deve ser um dos objetivos de um plano de gerenciamento de resíduos em instituições acadêmicas. Após os tratamentos realizados no presente trabalho, retirou-se um dos metais pesados do resíduo, que pode ser reciclado e utilizado oportunamente conforme a necessidade, uma destinação ambientalmente muito mais adequada que o envio para aterro.

O outro resíduo que sobrou, acidificado e contendo cromatos também pode ser tratado de forma barata e rápida. Em uma das aulas práticas da disciplina de Tratamento de Efluentes, se propôs um tratamento deste resíduo ácido contendo cromatos, com refluxo com etanol anidro comercial, e observou-se que tal procedimento obteve êxito na redução do cromo. Utilizou-se cerca de 500 mL de etanol para tratar quatro litros de resíduo contendo cromo, que foi posteriormente precipitado com a adição de carbonato de sódio. Existe uma grande margem para a criação de procedimentos de baixo custo para diversos resíduos gerados nos laboratórios, podendo este assunto ser mais explorado futuramente por outros projetos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme esperado, houve uma redução significativa no volume do resíduo passivo presente na FATEC-Campinas, principalmente no que concerne a este metal, sendo este totalmente eliminado, sobrando apenas os resíduos produzidos no semestre corrente.

Não foi possível determinar o rendimento do presente método em relação a qualidade da prata obtida a partir da redução com a dextrose, mas isso não impede seu uso didático em alguma disciplina, uma vez que ela cumpre seu objetivo de redução da prata, e ocorrem mudanças visuais bastante pronunciadas, tornando tal método bastante ilustrativo. O custo para sua realização é extremamente baixo, o que ajuda na defesa do presente método como algo sustentável e de baixo custo. O custo para realizar o procedimento é baixo, o que é algo fundamental para instituições públicas com recursos limitados.

Outro aspecto esperado é a de que este trabalho seja o início para a implantação de um plano de gerenciamento de resíduos químicos na presente instituição, uma vez que foi o primeiro trabalho do gênero a ser executado na FATEC-Campinas.

Apesar de terem sido recuperados cerca de 38 g de óxido de prata, apenas 10 g deste resíduo passaram por tratamento de redução, devido ao pouco tempo para execução da parte experimental do projeto. O restante do material foi guardado no laboratório de química da FATEC-Campinas, e poderá ser utilizado oportunamente no futuro. Os materiais recuperados poderiam ser utilizados em diversas aulas práticas, como por exemplo, o óxido de prata que pode ser utilizado como catalisador para reações orgânicas, a prata metálica que pode ser utilizada na investigação de processos corrosivos.

O presente projeto atingiu com sucesso maior parte dos objetivos propostos, como criar um método de baixo custo para recuperação deste metal dos resíduos presentes na FATEC-Campinas, a eliminação do resíduo passivo inerente a este metal nos laboratórios, criar uma metodologia que pudesse se aplicar a aulas práticas de disciplinas, e iniciar uma discussão sobre a implantação de um plano de gerenciamento de resíduos. Como perspectivas, uma maneira de realizar o tratamento posterior da prata metálica obtida, levando em consideração a qualidade

do produto obtido talvez fosse interessante para trabalhos futuros. Devido à falta de métodos de caracterização do produto obtido na presente instituição, esta etapa acabou apresentando resultados limitados de certa forma, mas que cumpriram de forma satisfatória os objetivos propostos, o que foi corroborado pela reação de redução realizada diretamente no cloreto de prata, como forma de controle do êxito do método redutivo proposto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 21 p.

AZAMBUJA, F. *et al.* **Noncovalent Substrate-Directed Enantioselective Heck Reactions: Synthesis of S- and P-Stereogenic Heterocycles**, Chem. Eur. J., Vol. 22, Issue 32, p. 11205-11209, 2016.

BACCAN, N. *et al.* **Química analítica quantitativa elementar**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher – Instituto Mauá de Tecnologia, 2001. 308 p.

DRAKE, P.L.; HAZELWOOD, K.L. **Exposure-Related Health Effects of Silver and Silver Compounds: A Review**, Ann. occup. Hyg., Vol. 49, Issue 7, pp 575-585, 2005

DUFFUS, J.H. **"Heavy Metals" – A Meaningless Term?**, Pure Appl. Chem., Vol. 74, Issue 5, p. 793-807, 2002.

FELISBERTO, R. *et al.* **De Resíduo a Insumo: A Construção do Caminho para uma Química mais Limpa Através de um Projeto de Ensino**, Quim. Nova, Vol. 31, Issue 1, p. 174-177, 2008.

FERREIRA, E.F. **Plano de Gerenciamento de Resíduos (PGR) do Instituto de Química**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2012. 45 p.

GEORGE, T.S. **Minamata: pollution and the struggle for democracy in postwar Japan**. Cambridge: Harvard University Asia Center, 2001. 385 p.

GERBASE, A.E. *et al.* **Gerenciamento de Resíduos Químicos em Instituições de Ensino e Pesquisa**, Quim. Nova, Vol. 28, Issue 1, p. 3, 2005.

HAYNES, W.M. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 97. ed. Boca Raton: CRC Press, 2016. 2670 p.

HUHEEY, J.E.; KEITER, E.A.; KEITER, R.L. **Inorganic chemistry: Principles of structure and Reactivity**. 4. ed. New York: Harper Collins, 1993. 964 p.

JARDIM, W.F. **Gerenciamento de Resíduos Químicos em Laboratórios de Ensino e Pesquisa**, Quim. Nova, Vol. 21, Issue 5, p. 671-673, 1998.

JUNK, W.R.; PANCOAST H.M. **Handbook of sugars for processors chemists and technologists**. Westport: AVI Publ., 1973. 327p.

LEHNINGER, A.L. **Bioquímica**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1976. v.1. Componentes moleculares das células.

MARAMBIO-JONES, C.; HOEK, E.M.V. **A review of the antibacterial effects of silver nanomaterials and potential implications for human health and the environment**, J. Nanopart. Res., Vol. 12, p. 1531-1551, 2010.

MORGAN, I.J.; HENRY, R.P.; WOOD, C.M. **The mechanism of acute silver nitrate toxicity in freshwater rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) is inhibition of gill Na^+ and Cl^- transport**, Aquatic Toxicology, Vol. 38, p. 145-163, 1997.

MURPHY, J.A.; ACKERMAN, A.H.; HEEREN, J.K. **Recovery of Silver from and Some Uses for Waste Silver Chloride**, Journal of Chemical Education, Vol. 68, Issue 7, p. 602-604, 1991.

PANYALA, N.R.; PEÑA-MÉNDEZ, E.M.; HAVEL, J. **Silver or silver nanoparticles: a hazardous threat to the environment and human health?**, J. Appl. Biomed., Vol. 6, p. 117-129, 2008.

RIBEIRO, J.A.S. **Prata**. In: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral**. Brasília, 2015. p 96-97.

ROSENBROCK, L.C.C. **Recuperação de Prata e Cromo dos Resíduos Gerados nos Experimentos de Titulações Argentimétricas**. Junho/2009. 42 p. Monografia (Bacharelado em Química) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009.

THROBACK, I.N. *et al.* **Silver (Ag^+) reduces denitrification and induces enrichment of novel nirK genotypes in soil,** FEMS Microbiol. Lett., Vol. 270, p. 189-194, 2007.

VOGEL, A.I. **Química Analítica Qualitativa**. 5. ed. São Paulo: Mestre Jou, 1981. 665 p.

WEIR, F.W. **Health hazard from occupational exposure to metallic copper and silver dust**, American Industrial Hygiene Association Journal, Vol. 40, Issue 3, p. 245-247, 1979.