



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO-QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA BACHARELADO

MAYARA NAGHLY VIANA SOUSA

**EXTRAÇÃO DE METAIS DAS PLACAS DE CIRCUITO
IMPRESSO - RECICLAGEM DO LIXO ELETRÔNICO**

FORTALEZA

2018

MAYARA NAGHLY VIANA SOUSA

**EXTRAÇÃO DE METAIS DAS PLACAS DE CIRCUITO
IMPRESSO - RECICLAGEM DO LIXO ELETRÔNICO**

Monografia apresentada ao Curso de Química Bacharelado, do Departamento de Química Analítica e Físico-Química, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Química.

Orientadora: Prof.^{ra} D.^{ra} Ruth Maria Bonfim Vidal

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S697e Sousa, Mayara Naghly Viana.
Extração de metais das placas de circuito impresso : reciclagem do lixo eletrônico / Mayara Naghly Viana Sousa. – 2017.
47 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Química, Fortaleza, 2017.
Orientação: Profa. Dra. Ruth Maria Bonfim Vidal.
1. Meio ambiente. 2. Reciclagem. 3. Placas de circuito impresso. 4. Lixo eletrônico. 5. Metais. I. Título.
CDD 540
-

MAYARA NAGHLY VIANA SOUSA

EXTRAÇÃO DE METAIS DAS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO -
RECICLAGEM DO LIXO ELETRÔNICO

Monografia apresentada ao Curso de Química Bacharelado, do Departamento de Química Analítica e Físico-Química, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Química.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^{ra} D.^{ra} Ruth Maria Bonfim Vidal (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^{ra} D.^{ra} Wladiana Oliveira Matos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

M.Sc. Juliana Monteiro da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus,
À minha avó, Clelta (*in memoriam*),
Ao meu avô, Francisco de Assis (*in
memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me concedido a bela oportunidade de viver e conhecer o amor e a Natureza.

Ao meu grande amor e amigo Rinaldo, que há 14 anos me acompanha pacientemente, e que durante todo esse período me ajudou de forma incansável, tanto intelectualmente quanto nas tarefas domésticas. Também pelo apoio, pela parceria e pelo amor sem fim.

Aos meus queridos pais, Jorge e Marineide, que, apesar da grande dificuldade, investiram com amor na minha educação. Aos meus avós maternos, Assis (*in memoriam*) e Clelta (*in memoriam*) que sempre valorizaram a educação e a solidariedade sendo minhas grandes referências na vida. Também pelo amor e pela dedicação sem fim.

Ao professor e sogro Orlando Domingos (*in memoriam*), símbolo maior de conhecimento e fraternidade, que me encorajou como ninguém a entrar na Universidade.

À professora Ruth Vidal, pela excelente orientação, pela paciência e pelo grande exemplo de profissional e ser humano.

A professora Wladiana Matos, pela disponibilidade de participar da banca.

Ao Laboratório de Química Ambiental, ao Laboratório de Química Analítica e a Fundação Núcleo de Tecnologia do Ceará (NUTEC), pela cessão dos equipamentos e da infraestrutura necessários para a realização deste estudo.

Aos meus sobrinhos, Pedro e Victor, pelas colaborações e sugestões.

Aos amigos que conquistei ao longo da graduação, Dayane, Davi Leite, Dieric, Edvânia, Erivelton, Iolanda, Juliana, Lucas Amorim, Lusivânia, Maria, Marcos Vinícius, Rudson e Sarah Brenda, pelas reflexões, críticas, sugestões, e sobretudo pelo companheirismo e ajuda, e por tornar mais leve a caminhada universitária.

Às professoras Helena, Izaura e Nilce, e aos professores Belmino, Dias e Jair, do Curso de Química, que muito contribuíram para a minha formação.

A todos os integrantes das equipes técnica e administrativa da UFC, que diariamente lutam para que a Universidade continue sendo um lugar acessível e acolhedor para toda a sociedade.

“Tudo no mundo começou com um sim.
Uma molécula disse sim a outra molécula
e nasceu a vida.”

(Clarice Lispector)

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo estudar o lixo eletrônico, desenvolvendo métodos de extração para reciclagem de metais presentes em placas de circuito impresso obsoletas, por meio de lixiviação. Foi ainda analisada a possibilidade de o extrato resultante da extração atuar como amostra real para o ensino. Para tanto, foram testadas rotas hidrometalúrgicas, sendo observados fatores como eficiência de extração dos solventes, tempo de digestão e volume de solvente utilizado, a fim de se suscitar a viabilidade econômica. As lixiviações com água régia e ácido nítrico diluído proporcionaram rendimentos de extração de metais inferiores, em média 23,53% e 14,17%, respectivamente, quando comparados a outros valores de referência na literatura, considerando-se o tempo de digestão durante 24 horas. O acúmulo de lixo eletrônico chama a atenção pelo volume e pela falta de investimentos no seu tratamento. Grande parte desses resíduos é tratada no exterior. O país também lidera quanto à escassez de dados e estudos sobre produção, reaproveitamento e reciclagem de resíduos eletroeletrônicos. A preocupação com o descarte adequado dos resíduos sólidos suscita a Química para a preservação ambiental, de forma a promover o desenvolvimento sustentável. Como o volume de resíduos cresce aceleradamente, e a projeção para o futuro também é expressiva, a consciência a respeito do tema se aprofunda, tanto pelo poder público quanto pela iniciativa privada. A Lei n. 12.305/2010 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e, além de estabelecer princípios e diretrizes, inova com o conceito de responsabilidade compartilhada, em que toda a sociedade é responsável pela destinação adequada de resíduos sólidos. Dessa forma, a lei inova também com inclusão e responsabilidade social.

Palavras-chave: Meio ambiente. Reciclagem. Placas de circuito impresso. Lixo eletrônico. Metais.

ABSTRACT

The present work had the objective of studying the electronic trash, developing extraction methods for the recycling of metals present in obsolete printed circuit boards, through leaching. It was also analyzed the possibility of the extract resulting from the extraction act as a real sample for teaching. In order to do so, hydrometallurgical routes were tested, being observed such factors as solvent extraction efficiency, digestion time and solvent volume used, in order to provoke economic viability. Leaching with royal water and dilute nitric acid provided lower extraction yields of 23.53% and 14.17%, respectively, when compared to other reference values in the literature, considering the time of digestion during 24 hours. The accumulation of electronic trash is striking because of the volume and lack of investment in its treatment. Much of this waste is treated outside. The country also leads on the lack of data and studies on the production, reuse and recycling of electrical and electronic trash. Concern about the proper disposal of solid waste raises Chemistry for environmental preservation, in order to promote sustainable development. As the volume of waste grows rapidly, and the projection for the future is also significant, awareness of the issue deepens, both by the public power and private initiative. Law no. 12,305 / 2010 instituted the National Policy on Solid Waste, and in addition to establishing principles and guidelines, innovates with the concept of shared responsibility, in which society is responsible for the proper disposal of solid waste. In this way, the law also innovates with inclusion and social responsibility.

Keywords: Environment. Recycling. Circuit boards. Electronic junk. Metals

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Placas de circuito impresso fragmentadas	29
Figura 2 – Esquema do funcionamento do aparelho ICP-OES	30
Figura 3 – Triplicata de ácido muriático e água oxigenada 3:1	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Concentrações utilizadas para as curvas de calibração (mg/L)

31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Indicadores de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos ...	25
Tabela 2 –	Composição de uma tonelada de sucata eletroeletrônica mista	26
Tabela 3 –	Composição de metais nas placas de circuito impresso	28
Tabela 4 –	Concentrações utilizadas para as curvas de calibração	30
Tabela 5 –	Alíquotas utilizadas para a confecção das curvas de calibração	31
Tabela 6 –	Parâmetros analíticos para a técnica de ICP-OES: Elemento, R2, LD e LQ	32
Tabela 7 –	Esquema de lixiviação, durante 10 dias	33
Tabela 8 –	Esquema de lixiviação, durante 24 horas	33
Tabela 9 –	Porcentagens de extração da fração de metais do extrato da digestão em água régia, ácido nítrico diluído, ácido clorídrico em meio oxidante e hipoclorito de sódio em meio oxidante, durante 10 dias	35
Tabela 10 –	Porcentagens de extração da fração de metais do extrato da digestão em água régia, ácido nítrico diluído, ácido clorídrico em meio oxidante e hipoclorito de sódio em meio oxidante, durante 24 horas	36
Tabela 11 –	Porcentagens de extração dos metais provenientes do extrato obtido em cada lixiviação, durante 10 dias	38
Tabela 12 –	Porcentagens de extração dos metais provenientes do extrato obtido em cada lixiviação, durante 24 horas	39
Tabela 13 –	Porcentagens de extração de Cobre em cada lixiviação, durante 10 dias	40
Tabela 14 –	Porcentagens de extração de Cobre em cada lixiviação, durante 24 horas	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EEE	Equipamentos Eletroeletrônicos
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
NUTEC	Fundação Núcleo de Tecnologia do Ceará
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
REE	Resíduos de Eletroeletrônicos
REEE	Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos
UFC	Universidade Federal do Ceará
UNEPE	United Nations Environmental Programme Sustainable

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo geral	17
2.2	Objetivos específicos	17
3	REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1	A Química e o meio ambiente.....	17
3.2	Avanços tecnológicos.....	19
3.3	Química e sustentabilidade.....	20
3.4	Resíduos sólidos e a Política Nacional de Resíduos Sólidos.....	21
3.5	Lixo eletrônico.....	24
3.6	Placas de circuito impresso.....	27
3.7	Hidrometalurgia.....	28
4	METODOLOGIA	28
4.1	Aquisição dos resíduos.....	28
4.2	Processamento manual.....	29
4.3	Caracterização.....	29
4.3.1	<i>Análise qualitativa</i>	30
4.3.2	<i>Análise quantitativa</i>	30
4.4	Processamento hidrometalúrgico.....	32
4.4.1	<i>Lixiviação</i>	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1	Procedimento manual.....	34
5.2	Caracterização.....	34
5.2.1	<i>Análise quantitativa</i>	34
5.2.2	<i>Análise qualitativa</i>	37
5.3	Processamento hidrometalúrgico.....	37
5.3.1	<i>Lixiviação</i>	39
6	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

No que tange ao meio ambiente, no Brasil, as duas últimas décadas foram marcadas por uma crescente conscientização tanto por parte dos cidadãos quanto por empresas em relação aos danos causados por um excesso de atividades humanas, seja nas atividades domésticas mais básicas, seja nos complexos processos industriais. A maioria dessas atividades tem gerado efluentes e resíduos, sólidos, líquidos e gasosos que, têm seu destino final na atmosfera, nos solos e nos corpos d'água (MOZETO; JARDIM, 2002).

Muitos teóricos sustentam que os efeitos das tecnologias geram desequilíbrios nos ecossistemas, principalmente na forma de poluição atmosférica, hídrica ou de resíduos sólidos, tornando assim os rejeitos impactantes ao meio ambiente e a sustentabilidade questões importantes (SPAARGAREN, 1996).

Nesse contexto, a Química assume um papel importante. E, embora, se reconheça suas contribuições para a melhoria na qualidade de vida da sociedade, a ela também é atribuída a responsabilidade pelos danos ambientais no planeta (MARQUES *et al.*, 2013).

Tal importância passou a se dar no nosso cotidiano, e de forma mais refletida pela sociedade, obtendo-se como resposta a esses problemas as leis ambientais. Dessa forma, o compromisso com o meio ambiente deve estar presente tanto nas empresas, quanto nos órgãos gestores e consumidores em todas as áreas.

Destacando a questão dos resíduos sólidos e sua destinação final, dentre as várias soluções na área de resíduos, um marco na legislação brasileira, a Lei n. 12.305/2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Trata-se de um grande feito, levando-se em conta a responsabilidade ambiental ali prescrita, que estabelece diretrizes, instrumentos, objetivos e princípios que não só fortalecem o poder público nas ações de gerenciamento de resíduos sólidos, mas também cobram deveres e obrigações para com a saúde ambiental, tanto de empresários, quanto dos consumidores, introduzindo a responsabilidade compartilhada. Outro dispositivo que serve de aplicação para a responsabilidade compartilhada é o conceito de Logística Reversa, em que o produtor é responsável pelo destino final dos resíduos ligados aos itens por ele fabricados.

Envolto na gestão de resíduos, o lixo eletrônico (*e-lixo*), que compreende os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE), se sobressai devido ao seu grande volume e à falta de políticas específicas e investimentos. Ele cresce

aceleradamente em razão do consumo exacerbado de produtos eletrônicos (MIGUEZ, 2010). O Brasil tem proporcionado acessibilidade a equipamentos eletrônicos, decorrente do aumento do poder aquisitivo e da ascensão social nas duas últimas décadas. É frequente o lançamento de novos produtos mais sofisticados, tornando obsoletos os da geração anterior, propiciando assim o acúmulo maior de *e-lixo* (ZHANG; FORSSBERG, 1999).

Como meio necessário para a resolução do problema, além do descarte adequado do resíduo, há também a possibilidade de eliminá-lo, reaproveitando-o e reincorporando-o na cadeia produtiva. Nesse sentido, uma das alternativas é a reciclagem.

No Brasil, porém, não há uma infraestrutura eficiente de reciclagem de lixo eletrônico. Poucas empresas atuam na área, o que torna uma cadeia estreita. Geralmente, os resíduos são direcionados para outros países, onde há empresas especializadas no seu tratamento; quando não, eles são descartados inapropriadamente junto com o lixo comum. Desse modo, ocorre a disposição inadequada no lixo doméstico, que segue para o aterro sanitário, onde pode ser incinerado, liberando substâncias tóxicas na atmosfera, ou ser exposto a céu aberto, entrando em contato com o solo e corpos d'água, causando poluição, em prejuízo do meio ambiente e das populações que circundam o local.

Logo, é comum grande parte dessas sucatas ser disposta junto ao lixo doméstico (ZHANG; FORSSBERG, 1999; SKERLOS; BASDERE, 2003), acarretando a perda de materiais valiosos e a poluição do meio ambiente. Ou seja, além de degradar o ambiente, os componentes que compõem esses resíduos deixam de ser reaproveitados, reusados ou reciclados.

Nesse contexto, estão inseridas nas sucatas eletrônicas as placas de circuito impresso (PCI), que são elementos essenciais da maioria dos equipamentos eletrônicos, encontradas em computadores, aparelhos de telefonia móvel TVs, DVD-players etc. A sua composição é variada, contendo desde metais preciosos, metais-base, metais pesados, a materiais poliméricos e cerâmicos (TENÓRIO; MENETTI; CHAVES, 1997; VEIT, PEREIRA; BERNARDES, 2002).

Essa mistura heterogênea torna a reciclagem um processo difícil. Entretanto, a presença de metais e metais preciosos a torna uma matéria-prima interessante (SHICHANG *et al.*, 1994; SHENG; REBINSKY; ETSSELL, 2005). A presença de substâncias poluentes na sua composição, que podem provocar distúrbios no sistema nervoso, problemas renais e pulmonares, câncer e outras doenças, impulsiona estudos

para evitar sua disposição direta no meio ambiente e de forma inadequada (WANG; CHIEN *et al.*, 2000). Daí a necessidade de resoluções mais efetivas no descarte adequado desses resíduos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente estudo tem como objetivo geral estudar os processos hidrometalúrgicos, tipo e quantidade de solvente e, tempo de digestão na extração de metais das placas de circuito impresso (PCIs).

2.2 Objetivos específicos

Dentre os objetivos específicos deste estudo, destacam-se:

- estudar o lixo eletrônico desenvolvendo métodos de extração para a reciclagem de metais retirados de placas de circuito impresso por meio de lixiviação, analisando-se fatores como a eficiência e o volume do solvente e o tempo de digestão, suscitando viabilidade econômica; e
- analisar a utilização do extrato resultante da lixiviação em práticas de ensino de Química, como amostras reais.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 A Química e o meio ambiente

“A Química é a ciência da matéria e das mudanças que ela sofre. O mundo da química inclui, portanto, todo o mundo material que nos rodeia – o chão que nos suporta, a comida que nos alimenta, a carne de que somos feitos”, (ATKINS; JONES 2012).

Logo, a Química proporciona o conhecimento acerca do mundo material, sendo praticada em nossas atividades cotidianas. Naturalmente acontecem várias transformações químicas, sejam elas espontâneas ou sob a interferência humana.

Dessas ações antrópicas, parte gera resultados proveitosos, como fertilizantes artificiais que geraram meios de alimentar a imensa e crescente população do planeta, a

transformação e produção dos materiais: polímeros para tecidos, silício de elevada pureza para computadores e vidro para fibras ópticas (ATKINS; JONES, 2012), enquanto outra parte gera resultados prejudiciais, como a poluição de rios e do ar atmosférico, a inadequada disposição de resíduos e efluentes, dentre inúmeros processos que alteram o ciclo natural do meio ambiente.

É importante ressaltar, quando os processos naturais são afetados por ações antrópicas, devem ser tratados de maneira integrada ou sistêmica. O que se pode dizer é que não basta gerar-se números ou resultados analiticamente precisos e exatos, se estes não estão associados aos seus próprios significados geoquímicos e ecológicos (MOZETO; JARDIM, 2002). Inclusive, sociais.

Com o desenvolvimento da indústria em geral, grandes avanços auxiliaram na melhoria de vida do ser humano. Porém, os problemas socioambientais contemporâneos derivam ou estão associados às condições e relações de produção capitalistas, que não integram em sua contabilidade o custo ambiental. Os efeitos danosos sobre o meio ambiente, por conseguinte, seriam oriundos da atividade industrial e tecnológica, que não internaliza custos ambientais da produção equivalentes à poluição, ao desmatamento, ao inadequado descarte de resíduos etc., em benefício do lucro (SPAARGAREN, 1996).

Diante disso, cabe à indústria química não apenas atuar como transformadora dos recursos naturais em benefício do ser humano, mas também harmonizar a relação entre o desenvolvimento e o meio ambiente.. Oportunamente, à luz da Química Ambiental, podem-se alcançar as devidas soluções para tais desafios, como bem observado por Caires (2010, p. 2):

A Química Ambiental originou-se em uma área da Química Clássica, e hoje é uma ciência interdisciplinar por envolver não só as áreas básicas da Química como também a Biologia, a Geologia, a Ecologia e a Engenharia Sanitária. A Química Ambiental estuda os processos químicos (mudanças) que ocorrem no meio ambiente. Essas mudanças podem ser naturais ou causadas pelo homem, e em alguns casos podem trazer sérios danos à humanidade. Atualmente, há uma grande preocupação em entender a química do meio ambiente, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida em nosso planeta.

A Química Ambiental, portanto, amplia os campos da Química convencional, dando-lhe uma característica socioeconômica, além de proporcionar parcerias sublimes com outras áreas do conhecimento. Desse modo, a Química Ambiental revive a Química

como uma ciência natural, leva à descompartmentalização, e certamente constitui a ferramenta mais poderosa no resgate da importância da Química como uma das ciências que mais benefícios têm trazido para o homem (MOZETO; JARDIM, 2002).

3.2 Avanços tecnológicos

Quando se analisa a relação da sociedade com a tecnologia, observa-se que, de uma forma racional ou instintiva, a humanidade utilizou-se das técnicas em prol da sua sobrevivência, melhoria de vida e por inata curiosidade.

Desde o domínio do fogo, o homem vem ingerindo alimentos cozidos em vez de crus, passando pela fabricação e utilização de instrumentos rústicos à base de madeira e pedra, o uso dos metais, a transformação dos materiais, o desenvolvimento do aço que levou à Revolução Industrial, até os grandes avanços tecnológicos, como os satélites de comunicação (ATKINS; JONES 2012).

Entre os avanços tecnológicos mais expressivos na sociedade contemporânea, destacam-se aqueles relacionados à tecnologia da informação, como *smartphones*, computadores e multimídias; a biotecnologia, principalmente na área médica; e as tecnologias industriais, como a automação.

Essas inovações causam alterações nas relações sociais e com o meio ambiente. Muitas vezes, a sociedade é exaurida por inovações que acarretam em produtos com a vida útil cada vez mais curta, além da incessante insatisfação com a função primeira dos objetos em si (LOUREIRO; LAYARGUES; CASTRO, 2002).

Logo, uma sociedade pautada no exagerado consumo de futilidades tecnológicas tem acarretado um expressivo aumento da geração de resíduos.

Entretanto, os avanços tecnológicos também estão associados à imprecisão do processo inovativo. Isso na medida em que não se sabe quando se trata de fato de uma inovação ou um risco pela perspectiva ambiental. A atenção para o debate consiste na instabilidade e na possibilidade dos riscos. Alguns teóricos afirmam que a sociedade contemporânea precisa aprender a lidar com as instabilidades e a volubilidade da prática científica e tecnológica. Por isso, são fundamentais a atenção e a precaução para gerir os riscos ambientais. Qualquer prática inovativa, estabelecida em resultados incertos e instáveis, representa um risco potencial para as instituições e relações sociais (BECK, 1992; BRUESEKE, 2002).

Importa ressaltar que a inovação difere da invenção, porque não se fundamenta na procura por novas propriedades técnicas ou novos produtos. Seu foco

reside justamente em conciliar os avanços tecnológicos e as instituições sociais existentes, e não no desenvolvimento de novas tecnologias (GILLE, 1978; STIEGLER, 1998).

Nesse contexto, para que se possam harmonizar os conflitos entre o tecnológico e as esferas sociais ambientais, faz-se necessário lidar com as incertezas das inovações.

3.3 Química e sustentabilidade

“Direito ao futuro”. Essa é uma expressão relacionada ao conceito de sustentabilidade, termo este que indica o desenvolvimento presente atendendo às necessidades dos seres humanos garantindo o futuro das próximas gerações, isto é, desenvolvimento presente sem comprometer as gerações futuras (FREITAS, 2012).

Com a divulgação do Relatório Brundtlandt em 1987, conhecido como “Nosso futuro comum”, foi apresentado um novo tipo de desenvolvimento – o desenvolvimento sustentável –, sinalizando uma nova diretriz no debate sobre os impactos do desenvolvimento, relacionando as áreas de tecnologia, economia, sociedade e política de forma a sugerir uma nova conduta diante da preservação ambiental, movida pelo desafio de uma responsabilidade que envolve tanto a geração atual quanto as gerações futuras (MARQUES *et al.*, 2013).

Desse modo, considerando-se as limitações dos recursos naturais, prevenindo seu esgotamento, nas últimas décadas a sustentabilidade tem sido objeto de grande preocupação. Tendo em vista o desenvolvimento predatório, o enfrentamento se faz necessário seguindo uma ética pró-futuro com o comprometimento de diversas áreas do conhecimento, numa perspectiva interdisciplinar (JACOBI, 2003).

Essas ações potencializam o engajamento dos diversos sistemas de conhecimento, assim como a produção e propagação do conhecimento científico, seja pela comunidade universitária, seja pela capacitação de profissionais (JACOBI, 2003). Envolvidos em um cenário multidisciplinar, todos esses atores visam a propiciar o entendimento do imenso sistema biológico que é o nosso planeta.

“O preço dos benefícios, entretanto, foi alto. O rápido crescimento da agricultura e da indústria, por exemplo, estressou a Terra e danificou nossa herança”, (ATKINS; JONES, 2012). Nesse âmbito, a Química se mostra essencial. E embora se conceba sua importância e contribuição para o aumento da qualidade da vida humana por

meio de seus conhecimentos e produtos, a ela também é atribuída parte da responsabilidade pelos impactos ambientais no planeta (MARQUES *et al.*, 2013).

É nessa seara que a Química é instada a rever modelos teóricos e práticos já estabelecidos, no intuito de gerar alternativas científicas e tecnológicas que levem em conta a preservação ambiental. Alternativas como a otimização da utilização dos recursos não renováveis, o aumento do uso dos recursos renováveis, o uso de formas alternativas de energização das reações a fim de desenvolver produtos com baixo consumo de energia, a redução do desperdício de matéria-prima e a gestão de resíduos sólidos são propostas para o desenvolvimento tecnológico aliado à preservação do meio ambiente (MOZETO; JARDIM, 2002).

O tratamento dos resíduos sólidos, objeto deste estudo, constitui uma ação que, além de diminuir a quantidade de lixo e gerar renda, possibilita a diminuição da retirada de recursos minerais da natureza.

Segundo a norma NBR 10.004:2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004, p. 1), resíduos sólidos são aqueles que:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nessa definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos, e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos, ou corpos de água, ou exijam para isso soluções, técnica e economicamente, inviáveis em face a melhor tecnologia disponível.

Logo, a Química Ambiental promove a sustentabilidade em razão não apenas da monitoração do ambiente, mas também e, principalmente, da elucidação dos mecanismos que determinam e controlam a concentração das espécies químicas candidatas a serem monitoradas (MOZETO; JARDIM, 2002).

3.4 Resíduos sólidos e a Política Nacional de Resíduos Sólidos

Há algumas décadas a responsabilidade com os resíduos vem sendo objeto de estudo tanto nacional como internacionalmente, principalmente devido ao aumento da consciência coletiva em relação ao meio ambiente.

No contexto urbano brasileiro, os problemas ambientais foram se intensificando, refletindo-se em dificuldades na gestão de resíduos sólidos, como o

despejo inadequado em áreas potencialmente degradáveis em termos ambientais, provocando impactos negativos na contaminação das águas, alterando a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos e tornando mais precária a condição do ar atmosférico.

Dentre as alternativas de políticas públicas de gestão integrada, desde o final da década de 1980 algumas experiências de gestão de resíduos sólidos vêm sendo implementadas em municípios brasileiros, por meio de programas locais de coleta seletiva em parceria com catadores de materiais recicláveis organizados em associações e cooperativas, que, embora em pequena escala, trouxeram grandes exemplos de benefício econômico, pois garantem uma renda estável às famílias envolvidas; de benefício ambiental, propiciando a reciclagem de diversos materiais; e de benefício social, já que o trabalho proporciona possibilidades de inclusão social de pessoas que sempre foram marginalizadas (JACOBI, 2006).

Tendo em vista que a produção de resíduos sólidos mostra-se crescente, e que a sua destinação vem ocorrendo de forma inadequada em muitas regiões, ressalta-se que nosso país é absurdamente desigual com desenvolvimentos diferentes em suas regiões. A coleta seletiva auxilia na redução do lixo da fonte geradora, além de promover o reaproveitamento e a reciclagem de matérias-primas, proporcionando também a geração de renda com inclusão social, e ainda minimizando o impacto ambiental causado pelo aterramento dos resíduos.

Dessas novas formas de organização social em escala local, surgiu uma inovadora maneira de tratar a gestão do lixo nas cidades, a chamada gestão compartilhada dos resíduos sólidos urbanos, que inspirou iniciativas como a criação do Programa Nacional Lixo e Cidadania. A gestão desse programa é realizada por um fórum de entidades da sociedade civil, com o objetivo de garantir dispositivos de controle social na gestão de resíduos e discutir a implantação de políticas públicas que venham a colaborar com a gestão socioambiental de resíduos (JACOBI, 2006).

Essas bem-sucedidas experiências da parceria entre o Estado e os catadores organizados refletem um grande potencial transformador, na medida em que o poder público se sensibiliza com as demandas e integra valores fundamentados na solidariedade e na gestão compartilhada.

Essas práticas envolvem um conjunto de atores, em que o poder público desempenha o papel de fortalecer e estimular a corresponsabilidade da sociedade, de modo a utilizar os recursos materiais e humanos da melhor forma possível, implementando políticas e programas sociais voltados para a inclusão social.

Nesse contexto, foi aprovada a PNRS, diante da complexidade das demandas não apenas ambientais, mas também econômicas e sociais, numa postura moderna do Estado, da sociedade civil e da iniciativa privada, que coloca o Brasil em patamar de igualdade legal com países desenvolvidos. Após mais de 20 anos tramitando no Congresso Nacional, em função de uma série de discussões e emendas, e por falta de consonância entre os setores público e privado, a Lei n. 12.305 finalmente foi assinada em 2 de agosto de 2010, pelo então presidente Lula.

A PNRS marcou um forte empenho institucional envolvendo União, estados e municípios, além do setor produtivo e a sociedade como um todo – na busca de soluções para os problemas na gestão de resíduos sólidos que prejudicam a qualidade de vida dos brasileiros. A Lei é fundamentada no conceito de responsabilidade compartilhada. A sociedade em geral (cidadãos, governos, sociedade civil organizada, setor produtivo) passou a ser responsável pela gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos. Ou seja, cada integrante da cadeia produtiva é corresponsável pelo ciclo de vida completo dos produtos, desde os fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, até o cidadão e os titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos (BRASIL, 2010).

O cidadão não apenas é responsável pela disposição adequada dos resíduos que produz, mas também é importante que ele reflita sobre o seu papel como consumidor. O setor privado é responsável pelo gerenciamento adequado dos resíduos em termos ambientais, assim como por reincorporá-los na cadeia produtiva e proporcionar inovações nos produtos que possam trazer benefícios socioambientais. Os governos federal, estaduais e municipais são responsáveis pela elaboração e implantação dos planos de gestão de resíduos sólidos, além dos demais dispositivos previstos na PNRS (BRASIL, 2010).

Outro instrumento previsto pela PNRS para aplicação de responsabilidade compartilhada é a logística reversa, que a PNRS define como um:

instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010, n.p.).

A procura por soluções na área de resíduos incide sobre as reivindicações da sociedade por mudanças motivadas pelo dispêndio ambiental e socioeconômico. Quando manipulados de forma adequada, os resíduos sólidos adquirem valor comercial e podem ser usados como novas matérias-primas e insumos (Ministério do Meio Ambiente, 2010).

A PNRS constitui um marco legal, e inova com a inclusão de catadoras e catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis, tanto na logística reversa quanto na coleta seletiva.

3.5 Lixo eletrônico

Dentre os mais variados tipos de resíduos sólidos urbanos, destacam-se os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE), também chamados de resíduos eletroeletrônicos (REE) ou, popularmente, de lixo eletrônico ou ainda *e-lixo*, que possuem características específicas, podendo ser altamente prejudiciais ao meio ambiente se dispostos de maneira inadequada, devido à liberação de substâncias tóxicas. No descarte inapropriado no lixo comum, algumas espécies químicas presentes nos dispositivos eletrônicos, como alumínio, arsênico, cádmio, chumbo, cobre e mercúrio, penetram no solo e nos lençóis freáticos (SILVA, 2010).

A Associação Brasileira da Indústria Eletroeletrônica (ABINEE) classifica os equipamentos eletroeletrônicos (EEE) em quatro grupos, denominados linhas: linha branca (equipamentos de cozinha, área de serviço e refrigerados), linha marrom (equipamentos de vídeo e áudio); linha verde (equipamentos de informática e telecomunicação) e linha azul (ferramentas elétricas e equipamentos portáteis) (ABINEE, 2017).

Nas últimas décadas, o aumento da aquisição desses equipamentos foi tão expressivo, que os resíduos deles provenientes têm aumentado de forma avassaladora em todo o mundo (WIDMER *et al.*, 2005).

No Brasil, o crescimento do consumo de aparelhos eletroeletrônicos também foi expressivo. O país liderou a produção *per capita* anual de resíduos de computadores entre os países em desenvolvimento (0,5 Kg). Do mesmo modo, o país também lidera quanto à escassez de dados e estudos sobre produção, reaproveitamento e reciclagem de eletroeletrônicos (SCHLUEP, *et al.*, 2009). Ou seja, países em desenvolvimento ainda estão se desenvolvendo sobre reciclagem.

Ainda sobre a geração de resíduos eletroeletrônicos no Brasil, a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM, 2009) realizou um estudo em que afirma uma previsão de um volume exorbitante de sete milhões de toneladas de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (Tabela 1) entre 2001 e 2030, oriundos de aparelhos de telefonia móvel e fixa, televisores, computadores, rádios, máquinas de lavar roupa, refrigeradores e *freezers*, equivalendo a aproximadamente 679.000 t/ano. A pesquisa atribuiu a cada residência apenas um elemento de cada um dos eletrônicos citados, o que pode ser refutado, já que o telefone móvel, por exemplo, é de uso individual. Portanto, é compreensível esperar que o volume de lixo eletrônico a ser descartado, no país, nos próximos anos, seja significativamente maior que o estimado, o que é preocupante.

Tabela 1 – Indicadores de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

Tipo de indicador	Volume
Geração de resíduos eletroeletrônicos	680.000 toneladas/ano
Projeção de geração média <i>per capita</i> anual de resíduos eletroeletrônicos (2001 a 2030), considerando-se aqueles provenientes de aparelhos de telefonia móvel e fixa, televisores, computadores, rádios, máquinas de lavar roupa, refrigeradores e <i>freezers</i>	3,4 Kg/habitante
Projeção de geração média <i>per capita</i> anual de resíduos eletroeletrônicos (2001 a 2030), considerando-se aqueles provenientes de aparelhos de telefonia móvel e fixa, televisores e computadores	1,0 Kg/habitante
Projeção de acúmulo de resíduos eletroeletrônicos gerados entre 2001 e 2030, considerando-se aqueles provenientes de aparelhos de telefonia móvel e fixa, televisores, computadores, rádios, máquinas de lavar roupa, refrigeradores e <i>freezers</i>	22 milhões de toneladas
Projeção de acúmulo de resíduos eletroeletrônicos gerados entre 2001 e 2030, considerando-se aqueles provenientes de aparelhos de telefonia móvel e fixa, televisores e computadores	7 milhões de toneladas

Fonte: FEAM (2009).

Com relação à destinação final dos resíduos eletroeletrônicos, em 2009 o Brasil apresentou a seguinte situação: 56,8% foram depositados em aterros sanitários, 23,9% foram destinados a aterros controlados, e 19,3 % foram abandonados em lixões (ABRELPE, 2009).

Em sua composição, os resíduos eletroeletrônicos reúnem as mais variadas substâncias, desde elementos químicos simples a polímeros. A Tabela 2 aponta os principais componentes e suas respectivas quantidades.

Tabela 2 – Composição de uma tonelada de sucata eletroeletrônica mista

Componente	Proporção (%)
Ferro	35,0 a 40,0
Cobre	17,0
Fibras e plásticos	15,0
Alumínio	7,0
Papel e embalagem	5,0
Zinco	4,0 a 5,0
Resíduos não recicláveis	3,0 a 5,0
Chumbo	2,0 a 3,0
Ouro	0,0002 a 0,0003

Fonte: Adaptado de Meius Engenharia Ltda. (2009) e Rodrigues (2007).

Além dos avanços tecnológicos, outros elementos contribuíram para o aumento da geração de resíduos eletrônicos no país na década passada, como o aumento do poder de compra das classes C e D, favorecidas com o aumento do emprego formal, a expansão do crédito e o corte do IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) para itens da chamada linha branca, pelos programas governamentais de estímulo à inclusão digital, assim como a permanente inovação tecnológica, que cria novas “necessidades” e desejos para a sociedade (COOPER, 2005).

A composição diversa do *e*-lixo pode causar impactos negativos no meio ambiente e na saúde humana. Elementos como arsênio, berílio, cádmio, chumbo e mercúrio causam efeito deletério nos sistemas digestivo e neurológico, afora outros problemas (WIDMER *et al.*, 2005). O risco vem, portanto, dos metais pesados presentes nas peças dos aparelhos descartados. O cromo hexavalente, espécies halogenadas, clorofluorocarbonetos (CFC), bifenilos policlorados (PCB), cloreto de polivinil (PVC), retardadores de chama bromados (PBB e PBDE) e amianto também são bastante tóxicos (CCE, 2000; WIDMER *et al.*, 2005). Devido ao risco da produção de gases e efluentes tóxicos, essas substâncias devem ser retiradas dos aparelhos eletroeletrônicos descartados com a devida precaução, ou seja, antes de qualquer ação, como disposição em aterro ou incineração (SIQUEIRA, MARQUES, 2012).

Em relação aos metais preciosos, na atividade mineradora o volume extraído é muito pequeno em comparação com os grandes volumes de terra. Associados a isso, estão a geração de efluentes que contêm dióxido de enxofre, um dos causadores da chuva ácida, podendo contaminar o solo e corpos d'água; um grande consumo de energia; e a alta emissão de gás carbônico (CO₂), um dos principais gases do Efeito Estufa. Então, pode-se minimizar os impactos ambientais, que são bastante relevantes, com a utilização de recuperação de metais por meio dos resíduos gerados (UNEP, 2009).

Segundo a United Nations Environmental Programme Sustainable (UNEP, 2009), no processo anual de extração de ouro por fonte primária para a fabricação de eletroeletrônicos, a oferta chega a 300 toneladas. Somando-se a isso, são 17.000 toneladas de CO₂ por tonelada de metal extraído, o que equivale a 5,1 milhões de toneladas de gás carbônico lançados na atmosfera todo ano.

Outro fator importante é que as áreas adequadas para a instalação de aterros são cada dia mais escassas, além do que a regeneração dos recursos na natureza nessas áreas é reduzida. Dessa forma, uma alternativa para minimizar os impactos gerados nos aterros é a reutilização desses metais pela indústria, reciclando-os (SIQUEIRA, MARQUES, 2012).

3.6 Placas de circuito impresso (PCI)

As PCIs fazem parte de todos os equipamentos eletrônicos, e sua composição é variada, podendo conter polímeros, cerâmicos e metais. E é justamente essa composição heterogênea que dificulta a reciclagem (SAITO, 1994).

O volume de metais torna essas sucatas uma matéria-prima muito atraente pela perspectiva econômica. A concentração de metais nas PCIs supera em muito o teor encontrado nos minérios (LEGARTH 1997).

Inclusive, a presença de metais pesados induz estudos para sua reciclagem e reaproveitamento. O chumbo, por exemplo, pode causar danos graves ao meio ambiente se disposto de forma inadequada (VEIT; BERNARDES, 2006).

De modo geral, a composição das PCIs inclui dispositivos importantes das sucatas eletrônicas, mas variando conforme a idade e o tipo de cada placa. Via de regra, as PCIs são compostas de materiais cerâmicos, vidros e óxidos (30%), plásticos (30%) e metais (40%) (GRECO et al., 2015). Metais como chumbo, cobre, estanho, ferro, níquel, ouro, paládio, prata e zinco estão presentes nas PCIs (FOGARASI et al., 2014; PARK; FRAY, 2009). A Tabela 3 mostra a composição típica de metais nas PCIs.

Tabela 3 – Composição de metais nas placas de circuito impresso

Metais	Al	Pb	Cu	Sn	Fe	Au	Pd	Ag
%Peso	5	2	16	3	5	0,025	0,01	0,01

Fonte: GOOSEY e KELLNER (2002).

3.7 Hidrometalurgia

O processo hidrometalúrgico envolve uma primeira etapa de reações de dissolução dos materiais em soluções lixiviantes ácidas ou alcalinas, seguindo-se uma etapa de separação de metais de interesse, por filtração, destilação ou precipitação (GERBASE; OLIVEIRA, 2012).

4 METODOLOGIA

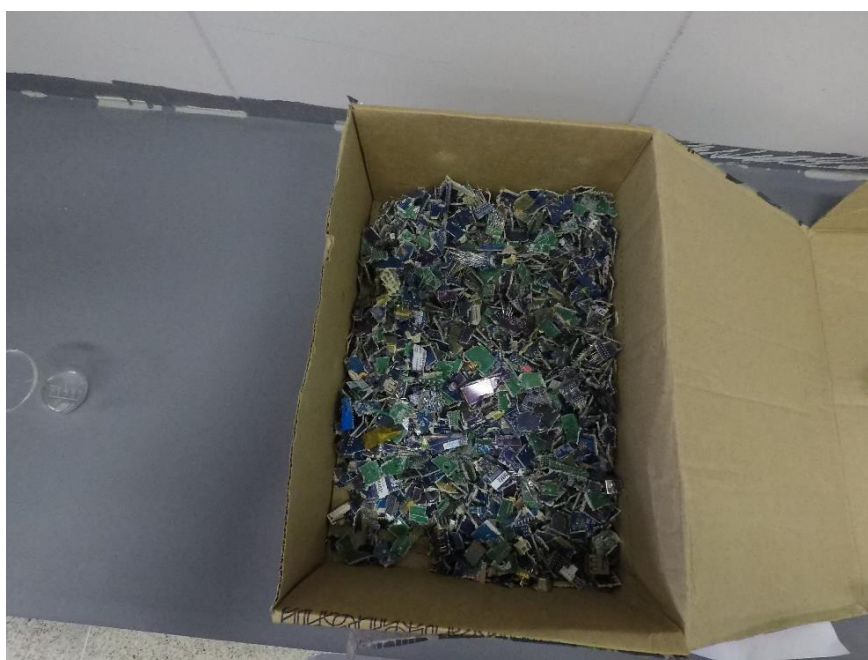
4.1 Aquisição dos resíduos

Parte das PCIs foi adquirida de varejistas de eletroeletrônicos de Fortaleza. A outra parte foi removida da sucata eletrônica fornecida pelo Ecoponto (local adequado de descarte da Prefeitura de Fortaleza) situado no bairro Pici.

4.2 Processamento manual

As PCIs foram separadas e fragmentadas com o auxílio de ferramentas manuais. Foram partidas em pedaços menores, de forma a deixá-las com maior área de contato, como ilustra a figura 1, favorecendo a digestão e adequando-as à manipulação, para posteriormente submetê-las a dissolução em soluções lixiviantes.

Figura 1 – Placas de circuito impresso fragmentadas

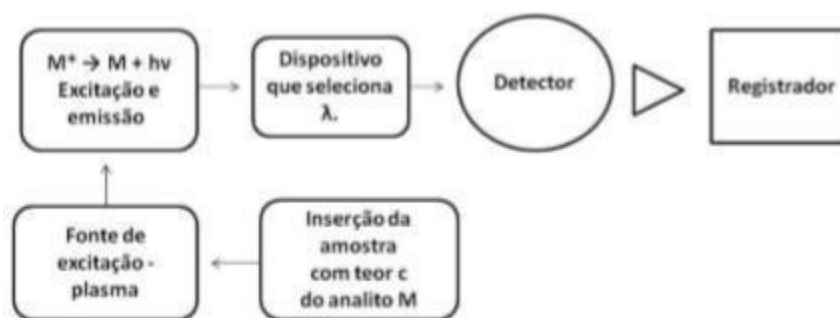


Fonte: Autoria própria

4.3 Caracterização

Identificaram-se os metais contidos nas PCIs, assim como sua quantificação, utilizando-se a análise química por espectrometria de emissão óptica com acoplamento de plasma induzido (ICP-OES). As determinações dos metais foram realizadas em um aparelho ICP-OES da marca Thermo Scientific, modelo iCAP 6000 Series, com visão axial, equipado com uma fonte de rádio.

Figura 2 – Esquema do aparelho ICP-OES.



Fonte: Google imagens.

4.3.1 Análise qualitativa

Para a análise qualitativa, foi empregado o Manual de Laboratório da disciplina Química Analítica I, do Curso de Bacharelado em Química, da Universidade Federal do Ceará, desenvolvido pela professora Helena Becker, em que é seguido o roteiro da marcha analítica, a fim de se analisar o licor resultante da lixiviação como amostra real para o ensino na graduação.

4.3.2 Análise quantitativa

Para a quantificação do teor de metais em PCIs, a fim de se obter a fração metálica das amostras obtidas pelo processamento manual, foram preparadas curvas de calibração dos metais analisados.

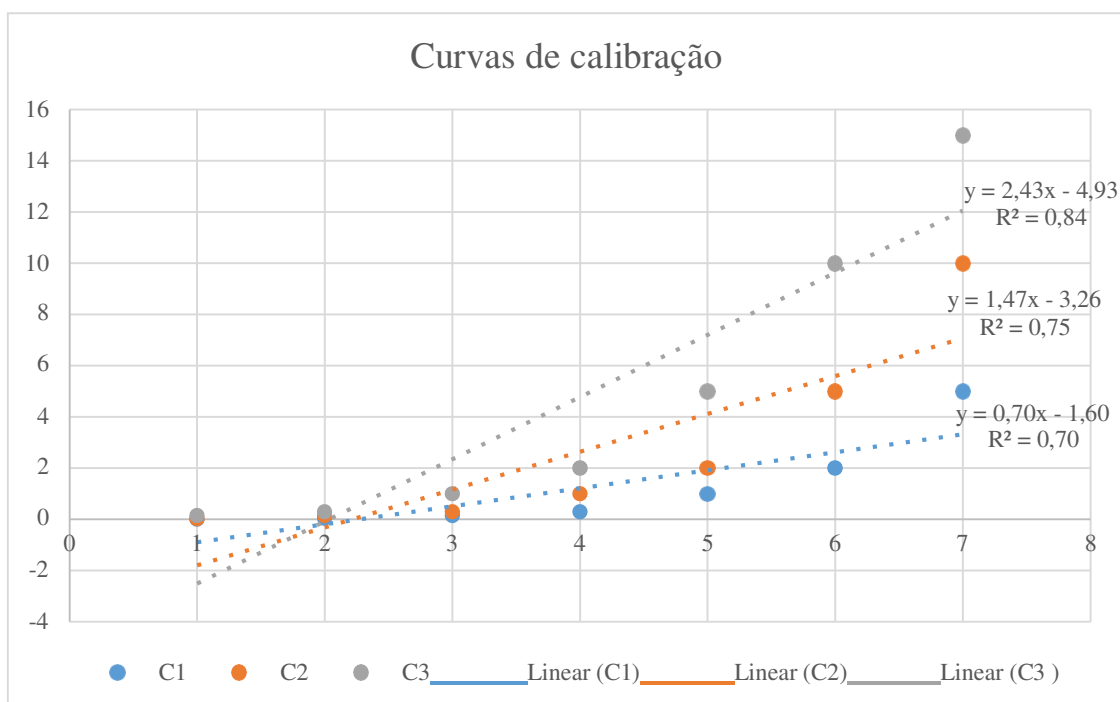
Para as curvas 1,2 e 3, foram preparados sete pontos com as concentrações e metais, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Concentrações utilizadas para as curvas de calibração (mg/L)

CURVA	P1(mg/L)	P2(mg/L)	P3(mg/L)	P4(mg/L)	P5(mg/L)	P6(mg/L)	P7(mg/L)
C1	0,015	0,05	0,15	0,3	1	2	5
C2	0,03	0,15	0,3	1	2	5	10
C3	0,15	0,3	1	2	5	10	15

Fonte: Elaborada pela autora.

Gráfico 1 – Concentrações utilizadas para as curvas de calibração (mg/L)



Fonte: Elaborada pela autora.

A curva C1 corresponde aos elementos Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Na, Ni, Sc, Sr, V e Zn.

A curva C2 corresponde aos elementos Al, B e Mo.

A curva C3 corresponde aos elementos As, Bi, K, Mg, P, Pb, Sb, Se e Sn.

As soluções de calibração foram preparadas utilizando-se soluções estoque da marca Sigma Aldrich, todas com 1.000 ppm de concentração. As concentrações de calibração variaram, C1 e C2 foram feitas a partir de uma solução de 10 ppm, retirando-se uma alíquota de 1 mL de cada solução padrão. Para a curva C3 todos os pontos foram feitos diretamente dos padrões de 1.000 ppm de concentração. Para fazer cada ponto da curva C1 e da curva C2, foram utilizadas diferentes alíquotas, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Alíquotas utilizadas para a confecção das curvas de calibração (mL)

CURVA	P1(mL)	P2(mL)	P3(mL)	P4(mL)	P5(mL)	P6(mL)	P7(mL)
C1	0,015	0,03	0,15	0,3	1	2	5
C2	0,03	0,15	0,300	1	2	5	10
C3	0,15	0,3	1	2	5	1	15

Fonte: elaborada pela autora.

Os elementos, os coeficientes de determinação (R^2), os limites de detecção (LD) e a quantificação (LQ) são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros analíticos para a técnica de ICP-OES: Elemento, R², LD e LQ

Elemento	R2	LD mg/L	LQ mg/L
Na	0,9797	0,005	0,015
Ca	0,9999	0,005	0,015
V	0,9999	0,005	0,015
Cr	0,9999	0,005	0,015
Mn	0,9991	0,005	0,015
Fe	0,9999	0,005	0,015
Co	0,9998	0,005	0,015
Ni	0,9998	0,005	0,015
Cu	0,9996	0,005	0,015
Zn	0,9967	0,005	0,015
Sr	0,9999	0,005	0,015
Cd	0,9998	0,005	0,015
Ba	0,9999	0,005	0,015
Sc	0,9999	0,005	0,015
B	0,9993	0,01	0,03
Mo	0,9998	0,01	0,03
Al	0,9997	0,01	0,03
Mg	0,9991	0,05	0,15
As	0,9997	0,05	0,15
Se	0,9997	0,05	0,15
Sb	0,9997	0,05	0,15
Sn	0,9996	0,05	0,15
Pb	0,9995	0,15	0,15
K	0,9981	0,05	0,15
P	0,9997	0,05	0,15
Bi	0,9993	0,05	0,15

Fonte: elaborada pela autora.

4.4 Processamento hidrometalúrgico

O processamento hidrometalúrgico foi realizado com quatro solventes lixiviantes – água régia, ácido nítrico 1:1 diluído, ácido muriático e água oxigenada 10 volumes 3:1 e água sanitária e água oxigenada 10 volumes 3:1.

4.4.1 Lixiviação

A lixiviação consiste em imergir as amostras de PCIs em solventes lixiviantes. As lixiviações foram realizadas com os solventes água régia, HNO₃ 1:1, HCl com H₂O₂

3:1 e NaClO com H₂O₂ 3:1. Foram realizados dois experimentos, com diferentes tempos de digestão. No experimento com digestão em 10 dias, foram feitas triplicatas, conforme mostra a figura 3, e a massa de 5 g de PCI foi mantida constante para cada ensaio, variando apenas o volume de cada solvente. Foram utilizadas alíquotas de 50, 75 e 100 mL de cada solvente lixiviante. De forma análoga, foi realizado experimento no tempo de digestão de 24 horas, com exceção das triplicatas. As Tabelas 7 e 8 ilustram o procedimento-padrão adotado para todas as lixiviações, que foram realizadas a temperatura ambiente.

Tabela 7 – Esquema de lixiviação, durante 10 dias

Massa da amostra de PCI/Volume do solvente (g/mL)			Tempo (dias)
5/50	5/75	5/100	10
5/50	5/75	5 /100	
5/50	5/75	5/100	
Triplicatas			

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 8 – Esquema de lixiviação, durante 24 horas

Massa da amostra de PCI/ Volume do solvente (g/mL)			Tempo (horas)
5/50	5/75	5/100	24

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 3 – Triplicata de ácido muriático e água oxigenada 3:1



Fonte: Autoria própria

O extrato resultante de cada procedimento da lixiviação foi filtrado em um papel de filtro quantitativo de filtragem rápida, e seguiu para o balão volumétrico de 500 mL. Depois de aferido o balão, as soluções seguiram para análise química em ICP-OES e para análise na marcha analítica do Manual de Laboratório.

O material retido no papel de filtro foi lavado com água deionizada, e, então, encaminhado para uma estufa para secagem a 100°C por uma hora. O processo foi repetido até peso constante. Por fim, foi realizada a pesagem do não lixiviado.

Para cada tempo de digestão, foi identificado: o tempo que proporciona maior extração de metais; se há diferença de extração com relação ao volume de solvente lixiviante utilizado; e a eficiência de extração de metais pelos solventes usados, sendo que este último fator foi analisado tomando-se por base referências na literatura

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Processamento manual

Foi realizado apenas o processo manual, sem o processamento físico da amostra, não havendo moagem nem quarteamento. Portanto, não foi possível submeter a amostra a uma classificação granulométrica. No presente estudo, obteve-se uma amostra irregular, com pedaços de tamanhos visivelmente distintos.

5.2 Caracterização

5.2.1 Análise quantitativa

Para se determinar a fração metálica de PCI que foi lixiviada, realizou-se a análise química dos licores obtidos da lixiviação com água régia, ácido nítrico diluído, ácido clorídrico em meio oxidante e hipoclorito de sódio em meio oxidante. As massas das amostras foram pesadas antes e depois das lixiviações. Para calcular a porcentagem de extração de metais, subtraiu-se a massa restante de PCI da massa inicial da amostra. As Tabelas 9 e 10 apresentam os dados, de acordo com os tempos de digestão.

De acordo com a Tabela 9, referente à digestão de 10 dias, a média para cada lixiviação variou. Para lixiviação com água régia, foi encontrada a média de 31,30% de fração metálica extraída. Para a lixiviação com ácido nítrico diluído, obteve-se o valor

médio de extração lixiviada de 34,26%. Para a lixiviação com ácido clorídrico e peróxido de hidrogênio 3:1, o valor da média de extração foi de 20,73%. Já para a lixiviação com hipoclorito de sódio e peróxido de hidrogênio 3:1, foi encontrada uma média irrelevante, de 1,06% de extração.

Tabela 9 – Porcentagens de extração da fração de metais do extrato da digestão em água régia, ácido nítrico diluído, ácido clorídrico em meio oxidante e hipoclorito de sódio em meio oxidante, durante 10 dias

Solvente/volume	Proporção de extração (%)	Proporção média de extração (%)	Proporção média geral de extração (%)
Água régia 100 mL	23,99	22,11	31,30
	21,65		
	20,69		
Água régia 75 mL	24,67	26,89	
	29,95		
	26,05		
Água régia 50 mL	44,44	44,90	
	35,00		
	55,27		
HNO ₃ 1:1 100 mL	32,02	33,23	
	39,12		
	28,54		
HNO ₃ 1:1 75 mL	34,27	34,53	34,26
	26,62		
	42,71		
HNO ₃ 1:1 50mL	34,32	35,02	
	37,44		
	33,30		
HCl com 3:1 H ₂ O ₂ 100mL	19,05	19,73	
	21,22		
	18,91		
HCl com 3:1 H ₂ O ₂ 75mL	17,41	21,07	20,73
	28,08		
	17,71		
	23,96	21,38	

HCl _{com} 3:1 H ₂ O ₂ 50mL	19,68		
	20,51		
NaClO 3:1 H ₂ O ₂ 100mL	1,49	1,36	1,06
	2,41		
	0,18		
NaClO 3:1 H ₂ O ₂ 75mL	1,77	1,23	
	1,86		
	0,05		
NaClO 3:1 H ₂ O ₂ 50mL	0,00	0,59	
	0,60		
	1,16		

Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo com a Tabela 10, referente à digestão de 24 horas, o valor médio de fração metálica para cada lixiviação também variou de acordo com o solvente. Para a lixiviação com água régia, foi encontrada a média de 23,53% de fração metálica extraída. Para a lixiviação com ácido nítrico diluído, a extração de metais foi de 14,38%. Para a lixiviação com ácido clorídrico e peróxido de hidrogênio 3:1, o valor da média de extração foi de 15,70%. E para a lixiviação com hipoclorito de sódio e peróxido de hidrogênio 3:1, foi encontrado 0% de extração, o que exclui a possibilidade de a solução atuar como lixiviante.

Tabela 10 – Porcentagens de extração da fração de metais do extrato da digestão em água régia, ácido nítrico diluído, ácido clorídrico em meio oxidante e hipoclorito de sódio em meio oxidante, durante 24 horas

Solvente/volume	Proporção de extração (%)	Proporção média de extração (%)
Água régia 100 mL	12,87	23,53
Água régia 75 mL	37,63	
Água régia 50 mL	26,53	
HNO ₃ 1:1 100 mL	20,30	14,17
HNO ₃ 1:1 75 mL	8,45	
HNO ₃ 1:1 50mL	13,75	
HCl _{com} 3:1 H ₂ O ₂ 100mL	17,75	15,70
HCl _{com} 3:1 H ₂ O ₂ 75mL	18,75	

HCl com 3:1 H ₂ O ₂ 50mL	10,59	
NaClO 3:1 H ₂ O ₂ 100mL	0	0
NaClO 3:1 H ₂ O ₂ 75mL	0	
NaClO 3:1 H ₂ O ₂ 50mL	0	

Fonte: Elaborada pela autora.

A digestão de 10 dias proporcionou um bom rendimento das lixiviações com ácido nítrico diluído e água régia, assinalando valores médios de 34,26% e 31,3%, respectivamente. Isso já era esperado, dada a reconhecida capacidade da água régia de dissolução dos metais. O ácido nítrico também apresentou bons resultados, por ser um poderoso oxidante. Já na lixiviação com ácido muriático e água oxigenada, obteve-se um rendimento inferior, mas razoável, ou seja, um valor médio de 20,73%. Enquanto isso, na lixiviação com hipoclorito de sódio e água oxigenada, obteve-se um rendimento não apreciável, inferior a 1%.

Logo, se o procedimento requerer a extração de um maior volume de metais, deve-se utilizar água régia ou ácido nítrico 1:1.

Em relação à digestão durante 24 horas, os rendimentos foram inferiores, embora razoáveis, porém menos eficientes em comparação com a digestão durante 10 dias.

5.2.2 Análise qualitativa

Utilizando-se o extrato resultante da lixiviação com água régia e ácido nítrico diluído, e seguindo-se o Manual de Laboratório, foi possível identificar Al, Cu, Fe, Pb e Zn. No licor resultante da lixiviação com ácido clorídrico e água oxigenada, foi identificado apenas o Cu.

5.3 Processamento hidrometalúrgico

Após cada lixiviação com água régia, ácido nítrico diluído, ácido clorídrico em meio oxidante (com exceção da lixiviação com hipoclorito de sódio, pois na etapa de quantificação da fração metálica da amostra de PCI, essa lixiviação apresentou um resultado de extração nulo), foi realizada a análise química por ICP do extrato obtido,

para a determinação dos metais presentes. As Tabelas 11, 12, 13 exibem os dados obtidos. Nas Tabelas 9 e 10, podem ser vistas as porcentagens de extração do licor obtido em cada lixiviação, durante 10 dias e durante 24 horas. Na análise química por ICP, vários metais deixaram de apresentar concentração apreciável, como, por exemplo, As, B, Ba, Ca, Co, K, Mn, Mo, Sb, Sc, Se, Sr e V, devido as amostras de PCIs serem bastante heterogêneas, contendo mais partes poliméricas do que metálicas, e também, não houve processo de cominuição, o que diminui consideravelmente a superfície de contato proporcionando uma maior extração. As exceções foram Al, Fe, Ni, Pb e Zn, cujos resultados foram assinalados em cor vermelha na Tabela 11, os quais apresentaram concentrações razoáveis e, portanto, porcentagens razoáveis de extração. Já o Cu, como se pode verificar, é o metal em maior quantidade na PCI, ou seja, com a maior porcentagem de extração.

Tabela 11 – Porcentagens de extração dos metais provenientes do extrato obtido em cada lixiviação, durante 10 dias

Solvente/ volume	Proporção de extração (%)					
	Cu	Al	Ni	Fe	Zn	Pb
Água régia 100 mL	32,835	0,035	8,140	1,188	0,162	0,026
	34,661	0,039	8,551	1,416	0,169	0,028
	36,129	0,042	9,624	1,531	0,185	0,030
Água régia 75 mL	18,849	0,041	3,296	0,752	0,108	0,014
	17,646	0,033	3,249	0,745	0,103	0,014
	19,377	0,041	3,815	0,924	0,109	0,019
Água régia 50 mL	19,431	0,006	1,113	0,538	0,057	0,006
	21,306	0,008	1,294	0,613	0,067	0,007
	22,135	0,005	0,952	0,437	0,057	0,005
HNO ₃ 1:1 100 mL	33,026	0,025	1,201	0,833	0,110	0,024
	30,343	0,023	0,641	0,728	0,101	0,022
	30,273	0,027	1,161	0,741	0,088	0,023
HNO ₃ 1:1 75 mL	23,767	0,018	0,773	0,046	0,089	0,015
	20,755	0,020	0,968	0,045	0,106	0,017
	24,134	0,016	0,635	0,040	0,076	0,013
HNO ₃ 1:1 50mL	26,209	0,039	0,921	0,015	0,083	0,014
	27,484	0,026	0,784	0,013	0,081	0,015
	24,970	0,042	0,969	0,020	0,083	0,014
HCl com 3:1	3,706	0,002	0,003	0,041	0,003	0,005

H ₂ O ₂ 100mL	2,968	0,001	0,001	0,002	0,001	0,003
	3,797	0,002	0,002	0,004	0,003	0,005
HCl _{com} 3:1 H ₂ O ₂ 75mL	2,326	0,002	0,002	0,003	0,003	0,005
	1,362	0,001	0,002	0,001	0,001	0,003
	2,345	0,002	0,002	0,003	0,003	0,006
HCl _{com} 3:1 H ₂ O ₂ 50mL	0,931	0,001	0,002	0,002	0,002	0,004
	0,988	0,005	0,002	0,002	0,001	0,004
	1,057	0,003	0,003	0,003	0,002	0,004

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 12 – Porcentagens de extração dos metais provenientes do extrato obtido em cada lixiviação, durante 24 horas

Solvente/volume	Proporção de extração (%)					
	Cu	Al	Ni	Fe	Zn	Pb
Água régia 100 mL	7,104	0,0135	0,3450	0,1205	0,0109	0,0092
Água régia 75 mL	8,796	0,0138	0,3651	0,1361	0,0106	0,0077
Água régia 50 mL	6,097	0,0135	0,2390	0,0761	0,0100	0,0085
HNO ₃ 1:1 100 mL	5,086	0,0183	0,6877	0,2828	0,0190	0,0160
HNO ₃ 1:1 75 mL	4,404	0,0190	0,7144	0,2190	0,0195	0,0165
HNO ₃ 1:1 50mL	4,200	0,0186	0,6756	0,1437	0,0147	0,0171
HCl _{com} 3:1 H ₂ O ₂ 100mL	1,234	0,0029	0,0010	0,0019	0,0019	0,0014
HCl _{com} 3:1 H ₂ O ₂ 75mL	1,621	0,0062	0,0014	0,0022	0,0021	0,0015
HCl _{com} 3:1 H ₂ O ₂ 50mL	1,350	0,0070	0,0009	0,0022	0,0023	0,0019

Fonte: elaborada pela autora.

5.3.1 Lixiviação

Como as porcentagens de extração dos outros metais não foram significativas, o presente estudo destaca a lixiviação do Cobre (Cu), metal que se sobressai devido ao seu valor comercial, e como pode-se constatar pelos dados obtidos das porcentagens de extração, está em maior volume nas PCIs. O Cu foi o metal que apresentou as maiores concentrações nas estações, o maior resultado de extração.

O extrato resultante de cada procedimento da lixiviação foi filtrado e seguiu para o balão volumétrico de 500 mL, no qual foi diluído, e depois seguiram para análise química em ICP-OES, em que se obteve as concentrações dos metais presentes. Levou-

se em consideração a diluição para encontrar o valor na solução inicial, e o cálculo da porcentagem foi feito a partir da massa que foi extraída, e não da massa que foi pesada da amostra inicial de PCI.

Nas Tabelas 13 e 14, encontram-se os dados de extração de Cu, durante 10 dias e durante 24 horas. Como se pode verificar, o período de 10 dias propicia uma digestão mais eficiente. O valor médio de extração do Cu, nesse tempo de digestão, com 100 mL de água régia ficou próximo de 34,54%. No tempo de digestão de 24 horas, o valor médio de extração de Cu com água régia foi de 7,33%. Na lixiviação com ácido nítrico diluído, os valores médios de extração também ficaram próximos aos da lixiviação com água régia, sendo um pouco menores. Já na lixiviação com ácido clorídrico e peróxido de hidrogênio, verificou-se uma extração muito menor.

Em relação à pequena diferença de extração entre a lixiviação com água régia e ácido nítrico, aquela substância é tida como a mistura mais eficiente na dissolução de ligas metálicas, justamente porque une a força de dois ácidos fortes concentrados: o ácido clorídrico e o ácido nítrico, que atua como oxidante. Outro fator relevante é que na lixiviação com ácido nítrico, o ácido estava diluído, o que diminuiu um pouco sua eficiência na dissolução do metal.

Na lixiviação com ácido clorídrico e água oxigenada, em que se obteve uma extração inferior, isso se deve à reatividade do cobre. Dado que o Cu é menos reativo que o hidrogênio, o metal não reage com o ácido clorídrico, o que desfavorece sua lixiviação. Entretanto, na presença de oxigênio, a reação de deslocamento é favorecida, oxidando o metal. Mas o peróxido de hidrogênio não é tão bom oxidante quanto o ácido nítrico (que além de oxidante, também é um ácido forte), resultando em uma extração de Cu pouco expressiva.

Tabela 13 – Porcentagens de extração de Cobre em cada lixiviação, durante 10 dias

Solvente/volume	Triplicata	Proporção de extração (%)	Proporção média de extração (%)
Água régia 100 mL	I	32,834	34,541
	II	34,660	
	III	36,129	
Água régia 75 mL	I	18,849	18,624
	II	17,646	
	III	19,377	
Água régia 50 mL	I	19,431	20,957

	II	21,306	
	III	22,135	
HNO ₃ 1:1 100 mL	I	33,026	31,214
	II	30,342	
	III	30,273	
HNO ₃ 1:1 75 mL	I	23,767	22,885
	II	20,755	
	III	24,134	
HNO ₃ 1:1 50mL	I	26,209	26,221
	II	27,484	
	III	24,969	
HCl _{com} 3:1 H ₂ O ₂ 100mL	I	3,706	3,490
	II	2,968	
	III	3,797	
HCl _{com} 3:1 H ₂ O ₂ 75mL	I	2,326	2,011
	II	1,362	
	III	2,345	
HCl _{com} 3:1 H ₂ O ₂ 50mL	I	0,931	0,992
	II	0,988	
	III	1,057	

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 14 – Porcentagens de extração de Cobre em cada lixiviação, durante 24 horas

Solvente/volume	Proporção de extração (%)	Proporção média de extração (%)
Água régia 100 mL	7,104	7,332
Água régia 75 mL	8,796	
Água régia 50 mL	6,097	
HNO ₃ 1:1 100 mL	5,086	4,563
HNO ₃ 1:1 75 mL	4,404	
HNO ₃ 1:1 50mL	4,200	
HCl _{com} 3:1 H ₂ O ₂ 100mL	1,234	1,402
HCl _{com} 3:1 H ₂ O ₂ 75mL	1,621	
HCl _{com} 3:1 H ₂ O ₂ 50mL	1,350	

Fonte: Elaborada pela autora.

6 CONCLUSÃO

A fração metálica da massa total de PCIs lixiviada variou apenas em função do volume de solvente e do tempo de digestão. A variação com o volume do solvente não foi significativa. A digestão de 10 dias proporcionou um bom rendimento das lixiviações com ácido nítrico diluído e água régia, assinalando valores médios de 34,26% e 31,3%, respectivamente. Isso já era esperado, dada a reconhecida capacidade da água régia de dissolução dos metais. O ácido nítrico também apresentou bons resultados, por ser um poderoso oxidante. Já na lixiviação com ácido muriático e água oxigenada, obteve-se um rendimento inferior, mas razoável, ou seja, um valor médio de 20,73%. Enquanto isso, na lixiviação com hipoclorito de sódio e água oxigenada, obteve-se um rendimento não apreciável, inferior a 1%.

Portanto, se o procedimento requerer a extração de um maior volume de metais, deve-se utilizar água régia ou ácido nítrico 1:1. Importa ressaltar que o ácido muriático e a água oxigenada são solventes promissores, devido à sua farta disponibilidade comercial e ao seu baixo preço.

Em relação à digestão durante 24 horas, os rendimentos foram inferiores, embora razoáveis, porém menos eficientes em comparação com a digestão durante 10 dias.

No que tange à relação sólido/líquido e ao volume de solvente utilizado, não houve diferença significativa na extração, isto é, a extração de metais, obtida nos volumes do mesmo solvente com as alíquotas de 50, 75 e 100 ml foram praticamente iguais. Logo, em termos de viabilidade econômica, o volume de solvente mais apropriado é 50 ml, pois resulta em menos gasto com reagentes.

A lixiviação com ácido clorídrico (ácido muriático) e peróxido de hidrogênio não apresentou bons resultados de extração, em comparação com a extração de Cu, obtendo-se um rendimento inferior. Contudo, ainda não se pode afirmar com exatidão se o solvente proporcionará uma recuperação eficiente, pois não foram feitos testes de recuperação. É certo que o solvente pode ser utilizado como amostra real, pois foi possível identificar o Cu. Nos licores resultantes de água régia e ácido nítrico, foi possível identificar Al, Cu, Fe, Pb e Zn. Portanto, suscita-se a viabilidade de utilização dos licores resultantes dessas lixiviações como amostras reais para as práticas de ensino de Química Analítica Qualitativa, na graduação, já que podem ser identificados cátions, tanto do segundo, quanto do terceiro grupo.

Ainda com relação à extração de Cu, na lixiviação com ácido clorídrico e água oxigenada, em que se obteve uma extração inferior, isso se deve à reatividade do

cobre. Dado que o Cu é menos reativo que o hidrogênio, o metal não reage com o ácido clorídrico, o que desfavorece sua lixiviação. Entretanto, na presença de oxigênio, a reação de deslocamento é favorecida, oxidando o metal. Mas o peróxido de hidrogênio não é tão bom oxidante quanto o ácido nítrico (que além de oxidante, também é um ácido forte), resultando em uma extração de Cu pouco expressiva.

O resultado obtido de fração metálica com água régia, durante 24 horas, ou seja, um valor médio de 23,53%, é menos promissor que os encontrados por Caldas *et al.*, 2015 e Kasper *et al.*, 2011, cujas amostras apresentaram respectivamente 35,5% e 40% de metais, podendo essa diferença ser atribuída a dois parâmetros: da granulometria, sendo que quanto menor for a granulometria da amostra, maior será a superfície de contato, acarretando uma maior extração; e da composição das placas, variável que depende de sua origem.

Entretanto, na digestão de 10 dias, as lixiviações com água régia quanto a extração com ácido nítrico apresentaram valores médios de 31,3% e 34,26%, respectivamente, próximos, portanto, aos encontrados pelos autores citados.

Neste estudo, foi possível destacar solventes promissores para extração de metais, e posterior recuperação, como o ácido nítrico 1:1, o ácido muriático e a água oxigenada 3:1, em pequena quantidade, utilizando-se apenas o volume de 50 mL.

Diante do exposto, conclui-se que é possível utilizar a solução residual da lixiviação para práticas de ensino de Química e ainda contribuir para enriquecer a discussão sobre a destinação do lixo eletrônico, no Brasil.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 10.004: (2004a). **Resíduos sólidos** – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 71 p.

Atkins, Peter. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**/Peter Atkins, Loretta Jones: tradução técnica: Ricardo Bicca de Alencastro.- 5. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2012.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2009. 210 p.

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Eletroeletrônica. **A indústria elétrica e eletrônica impulsionando a economia verde e a sustentabilidade**. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/baptista.pdf>>.. Acesso em: 23 ago. 2018. Brasília, 2017. 62 p.

BECK, U. **Risk society**. London: Sage Publications, 1992.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos.html>>. Acesso em: 18 out. 2018.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato20072010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em 18 out. 2018.

BRUESEKE, F. A modernidade técnica. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 17, n. 49, p. 135-144, 2002.

_____. **A técnica e os riscos da modernidade**. Florianópolis: UFSC, 2001.

CAIRES, A. C. P. **Química ambiental**. Santos: Colégio Ateneu Santista: 2010. Disponível em: <http://www.ateneusantista.com.br/Cursos%20Tecnicos/Meio%20Ambiente/Material%20para%20Download/QuimAmbiental_Teo.pdf>. Acesso em: 17 set. 2018.

CALDAS, Marcos Paulo Kohler. Tecnol. Metal. Mater. Miner. **Reciclagem de placas de circuito impresso visando recuperação de prata**: estudo de uma rota hidrometalúrgica, v. 12, n. 2, p. 102-108, abr./jun. 2015.

CCE – Comissão das Comunidades Europeias. **Relatório da proposta de directiva do parlamento europeu e do conselho**: relativa aos resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos e proposta de directiva relativa à restrição do uso de determinadas substâncias perigosas em equipamentos eléctricos e electrónicos, 2000/0158 (COD) e 2000/0159 (COD), Bruxelas: CCE, 2000. Disponível em: <<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2000:0347:FIN:PT:PDF>>. Acesso em: 17 set. 2018.

COOPER, Tim. Slower consumption. **Journal of Industry Ecology, Massachusetts Institute Of Technology And Yale University**, p. 51-67, 2005. Disponível em: <http://www.slowlab.net/Cooper_SlowerConsumption.pdf>. Acesso em: 17 set. 2018.

FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente. **Diagnóstico da geração de resíduos eletroeletrônicos no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Feam, 2009.

FOGARASI, S. et al. **Copper recovery and gold enrichment from waste printed circuit boards by mediated electrochemical oxidation**. Journal of Hazardous Materials, v. 273, p. 215-221, 2014.

FREITAS, Juarez. **Sustentabilidade**: direito ao futuro. 2. ed. Belo Horizonte: Fórum, 2012.

GERBASE, A. E.; OLIVEIRA, C. R. **Reciclagem de lixo de informática**: uma oportunidade para a química. Química Nova, v. 35, n. 7, p. 1486-1492, 2012.

GILLE, B. **Histoire des techniques**, Paris, Gallimard. *In*: Encyclopédie de la Pléiade), 1978.

GOOSEY, M. & KELLNER, R. **End-of-Life Printed Circuit Boards**. 2002.

Disponível em: http://www.cfsd.org.uk/seeba/TD/reports/PCB_Study.pdf. Acesso em 26.nov.2015.

GRECO, N. R. *et al.* **Recuperação dos metais presentes em placas de circuito impresso**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química: 2015.

JACOBI, Pedro. **Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade**. Cadernos de Pesquisa, n. 118, p. 189-205, 2003.

_____(Org.). **Gestão compartilhada dos resíduos sólidos no Brasil: inovação com inclusão social**. São Paulo: Annablume, 2006.

KASPER, A. C. *et al.* **Printed wiring boards for mobile phones: characterization and recycling of copper**. Waste Management, v. 31, n. 12, p. 2536-2545, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2011.08.013>>. Acesso em: 20.11. 2018.

LAYARGUES, Philippe. **O cinismo da reciclagem: o significado ideológico da reciclagem da lata de alumínio e suas implicações para a educação ambiental**. LOUREIRO, F.; LAYARGUES, P.; CASTRO, R. (Orgs.) **Educação ambiental: repensando o espaço da cidadania**. São Paulo: Cortez, 2002, 179-220.

LEGARTH, J. B. **Environmental decision making for recycling options**. Resources, Conservation and Recycling, v. 19, , p. 109-135, 1997.

MARQUES, C. A. *et al.* **Sustentabilidade ambiental: um estudo de pesquisadores químicos no Brasil**. Química Nova, v. 34, n. 6, p. 914-920, 2013.

MEIUS ENGENHARIA LTDA. **Diagnóstico da geração de resíduos eletroeletrônicos no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: editora, 2009.

MIGUEZ, E. C. **Logística reversa como solução para o problema do lixo eletrônico: benefícios ambientais e financeiros**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2010.

MOZETO, A. A.; JARDIM, W. F. **A química ambiental no Brasil**. Química Nova, v. 25, Supl. 1, p. 7-11, 2002.

PARK, Y.J., Fray, D.J.. **Recovery of high purity precious metals from printed circuit boards**. Journal of Hazardous Materials, n. 164, p. 1152-1158, 2009. (2009) 1152–1158.

RODRIGUES, Ângela Cássia. **Impactos socioambientais dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: estudo da cadeia pós-consumo no Brasil**. 2007. 301 f. Dissertação (Mestrado em 2007) – Universidade Metodista de Piracicaba, Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Santa Bárbara d'Oeste, SP.

SAITO, I. **Recovery of valuable metals from printed wiring board wastes**. National Institute Resources & Environment, Japan, v. 18A, n., p. 207-214, 1994.

SCHLUEP, M. *et al.* **Recycling – from e-waste to resources**. StPE study report commissioned by UNEP and UNU. Germany: UNEP, 2009. 90 p.

SHENG, P. P.; REBINSKY, R. D.; ETSSELL, T. H. **Recovery of silver from computer circuit board scrap**. Journal of Solid Waste Technology & Management, v. 31, n. 2, p. 78-83, 2005.

SHICHANG, Z. *et al.* **Recycling of electric materials**. Trans. Mat. Res. Soc., Japan, v. 18A, p. 201-206, 1994.

SIQUEIRA, V. S.; MARQUES, D. H. F. **Gestão e descarte de resíduos eletrônicos em Belo Horizonte: algumas considerações**. Caminhos de Geografia – Revista online, v. 13,

n. 43, p. 174-187, 2012. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/>>. Acesso em: 17/09/2018.

SILVA, J. R. N. da. **Lixo eletrônico: um estudo de responsabilidade ambiental no contexto no Instituto de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM Campus Manaus Centro**. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 1., 2010, Bauru. Anais... IBEAS, 2010.

SKERLOS, S. J., BASDERE, B. **Environmental and economic view on cellular telephone remanufacturing**. In: COLLOQUIUM E-ECOLOGICAL MANUFACTURING, 2003, Berlim, p. 143-148, 2003.

SPAARGAREN, G. (Ed.). **The ecological modernization of production and consumption**, 1996.

STIEGLER, B. **Technics and time 1**. Stanford: Stanford University Press, 1998. Sustentabilidade. Disponível em: <<https://www.suapesquisa.com/ecologiasaude/sustentabilidade.htm>>. Acesso em: 17 set. 2018.

TECMUNDO. KARASINSKI, L. **,O que é tecnologia,** 2013 Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/tecnologia/42523-o-que-e-tecnologia-.htm>>. Acesso em: 16 nov. 2018.

TENÓRIO, J. A. S.; MENETTI, R. P.; CHAVES, A. P. **Production of non-ferrous metallic concentrates from electronic scrap**. In: TMS ANNUAL MEETING, 1997.

UNEP – United Nations Environmental Programme Sustainable. **Innovation and technology transfer industrial sector studies**. recycling – from e-waste to resources.: Unep, 2009. Disponível em: <http://www.unep.org/PDF/PressReleases/Ewaste_publication_screen_FINALVERSION-sml.pdf>. Acesso em: 17 set. 2018.

VEIT, H. M.; BERNARDES, A. M. **Reciclagem de sucatas eletrônicas através da combinação de processos eletrônicos e eletroquímicos.** *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 2006, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: instituição promotora, 2006.

_____ ; PEREIRA, C. C.; BERNARDES, A. M. **Using mechanical processing in recycling printed wiring boards.** JOM, p. 45-47, 2002.

WANG, H. P. *et al.* **Fate of bromine in pyrolysis of printed circuit board wastes.** Chemosphere, v. 40, p. 383-387, 2000.

WIDMER, Rolf *et al.* **Global perspectives on e-waste.** Environmental Impact Assessment Review, v. 25, n. 5, p. 436-458, 2005.

ZHANG, S.; FORSSBERG, E. **Intelligent liberation and classification of electronic scrap.** Powder Technology, v. 105, p. 295-301, 1999.