Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

CONCENTRAÇÃO DE METAIS CONTIDOS EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO DE COMPUTADORES DESCARTADOS

Pedro Paulo Medeiros Ribeiro

Projeto de graduação apresentado ao curso de Engenharia Metalúrgica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários a obtenção do título de Engenheiro.

Orientador:

Achilles Junqueira Bourdot Dutra

Rio de Janeiro, RJ

Junho de 2013

CONCENTRAÇÃO DE METAIS CONTIDOS EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO DE COMPUTADORES DESCARTADOS

Pedro Paulo Medeiros Ribeiro

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA METALÚRGICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO METALÚRGICO.

Examinado por:

Achilles Dutra

Prof. Achilles Junqueira Bourdot Dutra

Prof.ª Giselle de Mattos Araújo

Prof. Eduardo Gonçalves Serra

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2013

Ribeiro, Pedro Paulo Medeiros

Concentração de metais contidos em placas de circuito impresso de computadores descartados/ Pedro Paulo Medeiros Ribeiro – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

XII, 54 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Achilles Junqueira Bourdot Dutra.

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Metalúrgica, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 49-54

1. Concentração de metais de placas de circuito impresso. 2. Análise de custos para montagem de uma cooperativa de trabalho.

I. Dutra, Achilles Junqueira Bourdot. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Metalúrgica. III. Concentração de metais contidos em placas de circuito impresso de computadores descartados.

Este trabalho é dedicado a Wilma da Silva Pestana, ao meu pai Jorge Caldas Ribeiro, a minha mãe, Debora de Oliveira Medeiros, a minha namorada, Natália Moreira Ternes, ao meu professor/orientador Achilles J. B. Dutra e aos meus grandes amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado forças para chegar até aqui,

À Wilma da Silva Pestana, pois foi ela quem me incentivou o tempo todo. Esteve comigo nos bons momentos e quando surgiam dificuldades, ela sempre esteve ali, disposta a me ajudar. Obrigado por tudo, Wilma da silva Pestana. Serei eternamente grato. Agradeço também ao seu esposo, Acrídalo Pestana, por todo apoio e amizade.

A minha namorada, Natália Moreira Ternes, por me aturar todo esse tempo, pelo apoio que me dá, e por todo o carinho demonstrado.

Ao meu pai, Jorge Caldas Ribeiro, que infelizmente nos deixou ano passado, mas jamais será esquecido por sua honestidade, seu caráter e simplicidade.

A minha mãe Debora de Oliveira Medeiros, aos meus irmãos Josimar Medeiros Ribeiro, Marcos Aurélio Medeiros Ribeiro e Jorge Luiz Medeiros Ribeiro.

Ao professor, orientador e amigo, Achilles Junqueira Bourdot Dutra por todo apoio, paciência e respeito. Esse trabalho é mérito seu.

Ao meu grande amigo, que esteve presente o tempo todo e me ajudou a desenvolver esse projeto, Yuri Ferreira Guimarães.

Ao Sérgio Almeida, melhor professor de física que já tive. Obrigado por todo apoio e incentivo. Você é e sempre será, acima de tudo, um grande amigo.

Aos meus professores do ensino fundamental e médio por acreditarem em mim e me incentivarem.

Pedro Ribeiro

Resumo do projeto de graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Metalúrgico.

Concentração de metais contidos em placas de circuito impresso de computadores descartados

Pedro Paulo Medeiros Ribeiro

Junho/2013

Orientador: Achilles Junqueira Bourdot Dutra

Curso: Engenharia Metalúrgica

A geração de lixo eletrônico assim como a pressão sobre as indústrias para encontrar um destino adequado para seus produtos, quando descartados, vêm aumentando gradativamente. Desenvolver um método eficaz para resolver o problema se tornou algo extremamente importante para as indústrias. Neste trabalho, foi desenvolvido um método para concentração de metais de placas de circuito impresso (PCIs) de computadores que seriam descartados. As PCIs foram cominuídas, classificadas por peneiramento e os materiais metálicos foram processados em classificador tipo zig-zag. O teor de cobre, inicialmente de 13,82%, subiu para 48,8% após a passagem do material das PCIs pelo classificador. A recuperação foi superior a 88%. O teor total de metais aumentou de 39,5% para 89% com recuperação de mais de 82% para tamanho de partícula na faixa entre 0,2-0,1 mm. O teor de ouro subiu de 200 ppm para mais de 8000 ppm. O projeto para a montagem de uma cooperativa de trabalho para a concentração dos metais das PCIs mostrou-se viável economicamente. Quanto à melhor forma de investir, foi visto que para taxa de juros menor que 11% é preferível à compra dos equipamentos, entre 11 e 26%, financiamento e acima de 26% é melhor optar pelo leasing.

Palavras-chave: placas de circuito impresso, reciclagem, recuperação, cooperativa de trabalho.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

CONCENTRATION OF METALS FROM PRINTED CIRCUIT BOARDS OF DISCARDED COMPUTERS

Pedro Paulo Medeiros Ribeiro

June/2013

Advisor: Achilles Junqueira Bourdot Dutra

Course: Metallurgical Engineering

The generation of electronic waste and the pressure on the industry to find a correct fate to their products, when discarded, are increasing quickly. Developing an effective method to solve the problem has become extremely important for industries. In this work, a method to concentrate metals from PCBs was developed. The PCBs were comminuted, classified by sieving and the metallic materials were concentrated with a zig-zag type classifier. The copper content, initially 13.82%(wt) rose to 48.8%(wt) after being processed by the classifier. The recovery was above 88%. The total metals content grew from 39.5%(wt) to 89%(wt) with a recovery of more than 82%, for the particle size range of 0.2 to 0.1 mm. The gold content has increased from 200 ppm to more than 8000. The design for setting a work cooperative for the concentration of the metals from PCBs was economically viable. It was shown that for discount rates lower than 11% the best choice is buying all equipment, between 11 and 26% financing alternative is the best while for rates above 26% leasing is the best option.

Keywords: printed circuit board, recycling, recovery, work cooperative

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1
2 REVISÃO DA LITERATURA 3
2.1 LIXO ELETRÔNICO E A SAÚDE 3
2.2 LIXO ELETRÔNICO E A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL NO BRASIL . 4
2.3 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS 6
2.4 RECICLAGEM 7
2.5 PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO 8
3 MÉTODOS DE PROCESSAMENTO 11
3.1 MÉTODOS DE RECICLAGEM DE PCIS 11
3.1.1 COMINUIÇÃO 11
3.1.2 CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA 12
3.1.3 CLASSIFICADORES A AR 12
3.1.4 SEPARAÇÃO GRAVIMÉTRICA 13
3.1.5 SEPARAÇÃO MAGNÉTICA 14
3.1.6 SEPARAÇÃO ELETROSTÁTICA 15
3.2 TÉCNICAS ELETROMETALÚRGICAS 16
3.2.1 PIROMETALURGIA 16
3.2.2 HIDROMETALURGIA 16
3.3 BIOTECNOLOGIA 18
3.4 ELETROMETALURGIA 18
3.5 TÉCNICAS ELETROMETALÚRGICAS 18
4 ANÁLISE DE CUSTO PARA A MONTAGEM DE UMA COOPERATIVA DE TRABALHO 20
4.1 COOPERATIVAS 20
4.1.1 COMO MONTAR UMA COOPERATIVA 21
4.2 CUSTOS 22
4.2.1 ELABORAÇÃO DE UM FLUXO DE CAIXA 22
4.2.2 AMORTIZAÇÃO DE EMPRÉSTIMOS OBTIDOS A LONGO PRAZO 23
4.2.3 DEPRECIAÇÃO 24
5 MATERIAIS E MÉTODOS 26
5.1 CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA 26
5.2 CLASSIFICAÇÃO EM ZIG-ZAG 26

5.3 ANÁLISES QUÍMICAS 28
6. RESULTADOS 29
7 ANÁLISE DE CUSTO PARA A MONTAGEM DE UMA COOPERATIVA 39
7.1 PAGAMENTO À VISTA 43
7.2 COMPRA FINANCIADA 44
7.3 LEASING 45
8 CONCLUSÕES 47
9. REFERÊNCIAS 49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Quantidade de lixo eletrônico gerado por computadores Kg/per capita (Relatório Reciclando - Do lixo eletrônico a recursos, 2009). 3

Figura 2. Esquema simplificado do Classificador zig-zag (adaptado do modelo da USBM - United States Bureau of mines) (SAMPAIO, 2005, AMBIENTE BRASIL, 2010), utilizado para concentrar os metais presentes nas PCIs. 27

Figura 3. Imagens de uma PCI. (A) antes e (B) após cominuição. 29

Figura 4. Micrografias obtidas por MEV e espectros de EDS. (A), (B), (C,) (E), (F), obtidas das PCIs após cominuição e (D) aparas das PCIs onde se concentra, visualmente, a maior concentração de ouro e partículas de ouro liberadas. 32

Figura 5. Passante acumulado em função do tamanho de partícula (Dp) das PCIs cominuídas. 33

Figura 6. Diagrama de Schytil utilizado para determinação da vazão de ar adequada para separar os materiais poliméricos e cerâmicos dos metálicos. A) para materiais com densidade igual a 1,8 g/cm^3. B) para partículas com densidade de 4 g/cm3. 34

Figura 7. Teor e recuperação de cobre em função do tamanho de partícula para a vazão de 15 m^3/h 35

Figura 8. Teor e recuperação de cobre das PCIs do concentrado do classificador em zig-zag em função da vazão aplicada para o tamanho de partículas na faixa de 0,2-0,1 mm. 36

Figura 9. Diferença no formato de uma amostra de cobre padrão (Figura A) e de uma amostra do material cominuído das PCIs (Figura B) na mesma fração granulométrica. 37

Figura 10. Teor, recuperação e razão de enriquecimento para o Cu das PCIs em função da vazão de ar aplicada no zig-zag. 37

Figura 11. Aspecto do material cominuído das PCIs após passagem pelo classificador zig-zag. A) concentrado (fração rica em metais); B) rejeito (fração rica em materiais cerâmicos e poliméricos). 38

Figura 12. Comparação para investimentos com diferentes financiamentos..... 45

Figura 13. Comparação entre financiamento, leasing e compra. 46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Percentagem de metais presentes no lixo eletrônico. 4

Tabela 2. Números de Reynolds para diferentes valores de Cd (SULLIVAN, 1982). 28

Tabela 3. Percentagem de metais (m/m) presentes em PCIs após moagem e classificação em peneiras para diferentes faixas granulométricas. 34

Tabela 4. Resultados obtidos após a concentração do material cominuído nas faixas granulométricas entre 0,8-0,6; 0,6-0,4; 0,4-0,2; 0,2-0,1 mm em classificador zig-zag. 35

Tabela 5. Resultado da análise no classificador em zig-zag para a faixa granulométrica entre 0,2-0,1 mm e diferentes vazões de ar. a é a % de cobre na alimentação, c_{Cu} a % de cobre no concentrado, $c._m$ a % de metais no concentrado, r_{Cu} a % de cobre no rejeito, N rendimento, τ a razão de enriquecimento Va = velocidade de ar ascendente injetada no equipamento, Vt = velocidade terminal das partículas. 36

Tabela 6. Resumo dos teores dos metais contidos nas PCIs após concentração. 39

Tabela 7. Número de computadores necessários para processar 2 toneladas de PCIs. Apresenta também a quantidade média de componentes que podem ser reaproveitados. 39

Tabela 8. Preço por grama dos metais. 40

Tabela 9. Receita obtida após o processamento de duas toneladas de PCIs. 40

Tabela 10. Equipamentos necessários para a montagem da cooperativa. 41

Tabela 11. Planilha construída para montar o fluxo de caixa do projeto. Os valores presentes referem-se à compra dos equipamentos (sem financiamento e sem leasing). 42

Tabela 12. Fluxo de caixa para o processamento de 24 toneladas de PCIs/ano, sem financiamento dos equipamentos. 43

Tabela 13. Financiamento - Tabela Price. 44

Tabela 14. Fluxo de caixa para financiamento de 30% do capital investido na compra dos equipamentos para o processamento de 24 toneladas de PCIs/ano. 44

Tabela 15. Leasing. 45

Tabela 16. Fluxo de caixa, considerando leasing para a obtenção dos equipamentos necessários para o processamento de 24 toneladas/ano das PCIs. 46

Tabela 17. Valor a ser recebido por cada cooperado depois dos descontos do fundo indivisível e do INSS..... 47

1 INTRODUÇÃO

A quantidade de produtos eletroeletrônicos lançados no mercado cresce ano após ano. No Brasil, graças ao crescimento do mercado interno, incentivo ao crédito, isenções pontuais de tributação e mudança de hábitos, tornou-se possível o acesso a uma grande quantidade de produtos da linha marrom (TVs, eletroeletrônicos, etc.). Esses produtos, entretanto, têm um tempo de vida médio curto, gerando o lixo eletrônico.

O meio mais indicado para tratamento dessa sucata eletrônica seria a reciclagem, porém, no Brasil existem poucas empresas que atuam neste ramo com tecnologia apropriada e condições de preservação ambiental. Sendo assim, muitas vezes esta sucata eletrônica acaba sendo despejada em aterros sanitários juntamente com o lixo doméstico, queimados ou mesmo depositados a céu aberto sem qualquer controle ou cuidado com o meio ambiente, provocando a poluição do solo, água e ar e causando doenças na população próxima destes locais. Quando isso acontece, além de poluir o meio ambiente, os componentes ou materiais que compõem esses resíduos estão deixando de se tornar reusáveis, recicláveis ou reaproveitáveis.

O projeto de lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos tramitou por mais de 20 anos no Congresso Nacional até ser aprovado em 2 de agosto de 2010. A lei foi aprovada com um texto que se preocupa em abordar as diversas problemáticas, ambientais, econômicas e sociais relacionadas ao tema.

A aprovação dessa lei é um marco na gestão ambiental brasileira, trazendo princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes que fortalecem o poder público nas ações de gerenciamento de resíduos sólidos, bem como, cobra dos empresários a responsabilidade pelos resíduos dos produtos fabricados, comercializados e fornecidos.

O estabelecimento de políticas nacionais é fundamental para a padronização do entendimento de um tema em todo o território do país, uma vez que a discrepância de conhecimento técnico, de poder aquisitivo e alternativas tecnológicas ainda são grandes entre os diversos municípios dos estados brasileiros.

O sucesso da indústria de eletrônicos durante a última década em desenvolver um mercado consumidor maciço para computadores, telefones celulares e outros equipamentos eletrônicos pessoais foi fenomenal. A sociedade deve agora encontrar maneiras de, com segurança e economia, recuperar os materiais contidos nestes produtos. Isto requererá um investimento significativo por governos, indústria e indivíduos na tecnologia e na instrução para remodelar atitudes sociais que levem à eliminação desses resíduos. Este problema multidimensional será o centro da questão de como serão fechados os ciclos dos materiais, abandonando-se o uso linear dos materiais.

As placas de circuito impresso (PCIs) são componentes essenciais da maioria dos equipamentos elétricos e eletrônicos. As PCIs são encontradas em computadores, celulares, TVs, DVDs etc. Sua composição é extremamente heterogênea, contendo metais preciosos como ouro; platina, prata; metais base como cobre ferro, zinco, estanho; metais pesados como chumbo, mercúrio etc; além de materiais poliméricos e cerâmicos.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um método para concentrar os metais das PCIs, principalmente o cobre, usando cominuição e peneiramento seguido de processamento em classificador zig-zag. Posteriormente, foi feita a análise de custos para a criação de uma cooperativa de trabalho, usando o método de processamento desenvolvido.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A produção de lixo eletrônico cresce cerca de três vezes mais do que a produção de lixo convencional (TRIGUEIRO, 2012). Estima-se que a geração de lixo de equipamentos elétricos e eletrônicos (HUANG *et al.*, 2009) em todo o planeta, esteja em torno de 20 a 50 milhões de toneladas por ano. No Brasil, estima-se que a geração deste tipo de lixo seja de aproximadamente 0,5 kg per capita por ano de acordo com o relatório Reciclando - Do lixo eletrônico a recursos, divulgado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Segundo esse relatório o Brasil está entre os países que mais produzem este tipo de lixo como pode ser visto na Figura 1.

A China, com 2,3 milhões de toneladas anuais, já é a vice-campeã mundial desses equipamentos descartados, perdendo apenas para os Estados Unidos (3 milhões de toneladas anuais). Até 2020, esse número deve crescer entre 200% e 400%. Na Índia, o Crescimento deve ficar em torno de 500%.

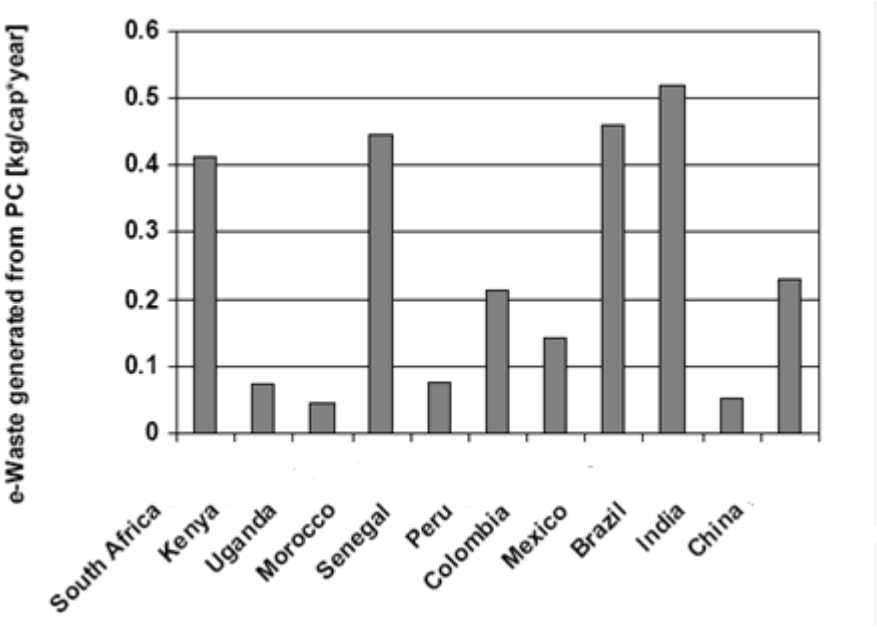


Figura 1. Quantidade de lixo eletrônico gerado por computadores Kg/per capita (Relatório Reciclando - Do lixo eletrônico a recursos, 2009).

2.1 LIXO ELETRÔNICO E A SAÚDE

Os equipamentos eletrônicos rejeitados são, na maioria dos casos, reduzidos à condição de lixo e têm como destino o lixo comum, chegando aos aterros sanitários ou lixões. O lixo eletrônico representa cerca de 5% de todo o lixo gerado pela humanidade. As consequências para os seres humanos, animais e ambiente são graves, pois esses

equipamentos possuem diversas substâncias e elementos químicos extremamente nocivos à saúde, principalmente os metais pesados (Mattos, 2008). As pessoas podem se contaminar pelo contato direto, no caso de manipulação direta de placas eletrônicas e outros componentes perigosos dos eletroeletrônicos nos lixões a céu aberto. A contaminação pode também ocorrer indiretamente ou de forma acidental, pois quando um produto eletrônico é jogado no lixo comum e vai para um aterro sanitário, há grande possibilidade de que os componentes tóxicos contaminem o solo chegando até o lençol freático, afetando também a água. Se essa água for usada para irrigação ou para dessedentar o gado, os elementos chegarão ao homem através da alimentação. O impacto ecológico dos resíduos eletroeletrônicos, quando não tratados apropriadamente após a sua fase de uso, e a perda econômica, proveniente da não valorização da economia de ciclo são imensos (Mattos, 2008). A maior parte do lixo eletrônico é composta por metais, mas há também diversas outras substâncias que vão desde elementos simples a hidrocarbonetos complexos. A Tabela I apresenta a composição média de uma tonelada de lixo eletrônico.

Tabela 1. Percentagem de metais presentes no lixo eletrônico.

Elementos	***Porcentagem dos elementos presentes no lixo eletrônico***
Ferro	35% e 40%
Cobre	17%
Chumbo	2% e 3%
Alumínio	7%
Zinco	4% e 5%
Ouro	200 e 300 gramas
Prata	300 e 1.000 gramas
Platina	Entre 30 e 70 gramas
Fibras e Plásticos	7%
Papel e embalagens	5%
Resíduos não recicláveis	Entre 3% e 5%

2.2 LIXO ELETRÔNICO E A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL NO BRASIL

A legislação, quando se trata do lixo eletrônico ou resíduos sólidos, não é tratada da mesma forma pelos diversos países. Na verdade, muitos deles não possuem nenhum tipo de regulamentação ou legislação para a coleta e o descarte desse tipo de material.

Apesar do ritmo de crescimento da venda de eletrônicos, o Brasil não tinha nenhuma política nacional de descarte de lixo eletrônico ou de responsabilidades sobre esse resíduo, mas apenas leis ou projetos regionais. Os estados da República Federativa do Brasil têm a total liberdade de deliberar por outras leis, mais restritivas, que preencham as suas demandas regionais. Por esse motivo, alguns estados já tinham votado leis mais rigorosas voltadas ao gerenciamento de resíduos sólidos e outros estão em vias de validar novos projetos de lei.

Em nível nacional, só havia a Resolução 257 do CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente, de 1999 (complementada pela resolução 263 do mesmo ano), que versa sobre a destinação de pilhas e baterias usadas. Esta resolução atribui aos fabricantes ou importadores a responsabilidade pelo gerenciamento desses produtos tecnológicos que necessitam de disposição final específica, em função do perigo e dos níveis de metais tóxicos que apresentam, sob pena de causar danos ao meio ambiente e à saúde pública. A resolução prevê que pilhas comuns (alcalinas, zinco-carbono) podem ser jogadas no lixo comum das casas, embora nem sempre os ambientalistas concordem com isso.

Os estados da República Federativa do Brasil têm a total liberdade de deliberar por outras leis, mais restritivas, que preencham as suas demandas regionais. Por esse motivo, alguns estados já votaram leis mais rigorosas voltadas ao gerenciamento de resíduos sólidos e outros estão em vias de validar novos projetos de lei. No Estado de São Paulo, um Plano Diretor de Resíduos Sólidos foi estabelecido pela lei nº 11.387 de 2003, para propor apropriadamente novas resoluções a respeito do gerenciamento de resíduos (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2010).

Outro exemplo de projeto de estado está sendo realizado pela Universidade de São Paulo (USP), que criou o Centro de Reciclagem de Resíduos Sólidos e de Informática (CEDIR). A sua inauguração ocorreu em 2009. Trata-se de um projeto pioneiro de tratamento de lixo eletrônico em órgão público e em instituição de ensino superior. O centro fica instalado em um galpão na Cidade Universitária, em São Paulo, onde os produtos são recebidos, testados, desmontados e encaminhados para um destino sustentável. Se o produto ainda funciona, é encaminhado a projetos sociais - o primeiro lote deve ser enviado ao Centro Cultural São Paulo. Mas, se não há mais uso, os elementos são separados, desfigurados (para que informações de disco rígido sejam

apagadas, por exemplo) e enviados para a indústria de reciclagem (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2012).

Em Santa Catarina, em 2005, foi sancionada pelo governador do Estado a lei 13.557 que determina que os fabricantes, importadores e empresas que comercializam equipamentos eletrônicos são responsáveis pela destinação final ambientalmente adequada do lixo eletrônico. O Estado do Paraná possui uma legislação mais rigorosa, a lei nº 12493 de 1999, que define princípios e regras rígidas aplicadas à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos. Foi determinado como prioridade, reduzir a geração de resíduos sólidos através da adoção de processos mais atualizados tecnologicamente e economicamente viáveis, dando-se prioridade à reutilização ou reciclagem de resíduos sólidos a despeito de outras formas de tratamento e disposição final. O Estado do Paraná tornou os produtores responsáveis pelo armazenamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final dos produtos descartados (Ambiente Brasil, 2010).

2.3 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Após mais de 20 anos tramitando no Congresso Nacional, por conta de uma série de emendas que foi recebendo ao longo dos anos e da falta de consenso entre representantes do setor público e privado, a Política Nacional de Resíduos Sólidos foi assinada no dia 02 de agosto de 2010, pelo presidente Lula.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece normas que devem ser obedecidas pela União e por aqueles que desejarem recursos da União ou daqueles que são por ela administrados. Estabelece diretrizes sobre resíduos sólidos, normas gerais que devem ser obedecidas pela União, pelos demais entes da Federação e pelos particulares.

O artigo 33 da referida lei dita sobre a estruturação e implementação de sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:

- agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em

normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA), ou em normas técnicas;

- pilhas e baterias;
- pneus;
- óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;
- lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;
- produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

A política é inovadora por tratar da responsabilidade ambiental sobre os resíduos e ao estabelecer a logística reversa, além de trazer um ganho para a agenda da sustentabilidade do País.

Entre as inovações da Política Nacional de Resíduos Sólidos destaca-se o conceito de responsabilidade compartilhada em relação à destinação de resíduos. Isso significa que cada integrante da cadeia produtiva – fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e até os consumidores – ficarão responsáveis, junto com os titulares dos serviços de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, pelo ciclo de vida completo dos produtos, que vai desde a obtenção de matérias-primas e insumos, passando pelo processo produtivo, pelo consumo até a disposição final (MMA, 2010).

2.4 RECICLAGEM

A recuperação ou a reciclagem de sucatas ou resíduos é muito mais simples do que extrair a matéria prima da natureza. O consumo energético é menor e gera-se menos poluição do que as atividades primárias. Além disso, as matérias primas obtidas a partir de sucatas ou resíduos, são muitas vezes mais concentradas e exigem apenas processos de purificação.

Além de tornar o processamento de obtenção do metal mais barato para o produtor, a reciclagem ou recuperação pode satisfazer certos objetivos sociais e ambientais. Isso inclui a conservação de fontes naturais e a proteção do meio ambiente quanto à poluição. Mas para que isso ocorra, a participação da sociedade dever ser incentivada por meio da conscientização da mesma e estabelecimento de regulamentos quanto à coleta seletiva de lixo.

O principal fator para o sucesso ou fracasso de programas de reciclagem é a viabilidade de um mercado para os materiais separados. Um programa de reciclagem inclui, portanto, por necessidade um mercado consumidor para os materiais coletados, senão os materiais separados terão como destino os aterros junto aos demais resíduos não separados.

Nos últimos anos tem havido uma forte indicação de que o público está disposto à dedicar seu tempo e esforço para separar materiais para uma subsequente reciclagem. O que está faltando então é mercado. Mercados para materiais reciclados podem ser criados por uma demanda da população. Se o público insistir, por exemplo, em comprar somente jornais que foram impressos em papel reciclado, então os jornais serão forçados, por seu próprio interesse, a usar papel reciclado e isso irá direcionar e estabilizar o preço do papel reciclado.

Para uma efetiva reciclagem, os materiais precisam ser separados entre si e para isso, a maioria dos processos de separação baseia-se nas características ou propriedades de cada material especificamente, e essa característica é usada para separar o material de interesse do resto da mistura. Antes de tal separação ser obtida, de qualquer maneira, o material precisa estar em pedaços pequenos e não combinado com outros tipos de materiais, uma condição claramente não encontrada na maioria dos componentes de um resíduo.

A redução de tamanho, geralmente, é o primeiro passo para a separação dos diferentes materiais, uma vez que os mesmos estarão mais “liberados”, facilitando a recuperação.

2.5 PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

As Placas de Circuito Impresso (PCIs) são utilizadas em diversas áreas da indústria eletrônica e chegam a representar 30% de todo o produto fabricado (BERNARDES *et al*., 1997).

A composição dessas placas é extremamente heterogênea, o que dificulta a sua reciclagem (SAITO, 1994). Mas, por outro lado, a presença de grande quantidade de metais em sua composição torna as PCIs uma matéria prima interessante. O teor de metais nas PCIs é muito superior ao teor encontrado nos minérios (LEGARTH 1997). Além disso, as PCIs contêm materiais perigosos (HAYES, 1993) para o meio ambiente

quando dispostos de maneira inadequada, tornando sua reciclagem além de interessante economicamente também necessária ambientalmente.

Os primeiros estudos para reciclagem de sucatas eletrônicas datam de 1969, quando o U. S. Bureau of Mine (SUM, 1991) começou a investigar procedimentos para recuperar metais preciosos de sucatas eletrônicas militares obsoletas ou danificadas que atingiam mais de 9.100 toneladas por ano.

A composição das Placas de Circuito Impresso, componentes importantes das sucatas eletrônicas, varia de acordo com a idade e com o tipo de placa. Em linhas gerais as PCIs são compostas de vários metais e ligas metálicas assim como compostos orgânicos e inorgânicos (HOFFMANN, 1992):

• Polímeros: em média 30% em peso, principalmente poliolefinas, poliésteres e policarbonatos.

• Óxidos Refratários: em torno de 30% em peso, onde a sílica é 50%, alumina 20%, óxidos de terras raras 20% e 10% de outros óxidos.

• Metais Base: em torno de 40% do peso total, composto de 50% de cobre, 20% de estanho, 10% de ferro, 5% de níquel, 5% de chumbo, 5% de alumínio e 3% de zinco.

• Metais Preciosos: em torno de 1655 g/ton de prata, 850 g/ton de ouro e 42 g/ton de paládio.

Algumas substâncias presentes nas PCIs podem causar prejuízos à saúde. O chumbo, encontrado nas soldas das placas é o principal, e pode causar danos aos sistemas nervoso central e periférico, além do sistema endócrino, circulatório e nos rins. Outros elementos, como o mercúrio que pode causar danos no cérebro e o cádmio que causa danos aos rins e é acumulativo, também estão presentes nas PCIs, porém em quantidades mais baixas. Com relação ao chumbo, existe uma diretiz da comunidade europeia, em vigor desde 13 de fevereiro de 2003, que passou a proibir a utilização do chumbo a partir de 01/07/2006.

Além destes, as PCIs e outros produtos eletrônicos, possuem os chamados retardantes de chama, a base de bromo, que são regularmente incorporados como forma de assegurar uma proteção contra a inflamabilidade. Estas substâncias são

desreguladoras endócrinas e uma vez liberadas no ambiente, podem atingir a cadeia alimentar, onde se concentram.

3 MÉTODOS DE PROCESSAMENTO

As placas de circuito impresso (PCIs), por serem constituídas por uma variedade muito grande de materiais, e pelo fato de que os métodos de reciclagem não condizem com a preservação do meio ambiente, são extremamente difíceis de serem tratadas.

Existem várias técnicas para a reciclagem dos materiais das PCIs. As técnicas envolvidas podem ser pirometalúrgicas, hidrometalúrgicas, processos mecânicos e, ainda, envolver o uso da biotecnologia (BRANDL *et al.*, 2001 e NAKAZAWA *et al.*, 2002).

3.1 MÉTODOS DE RECICLAGEM DE PCIS

Inicialmente, as PCIs passam por um processo mecânico para a redução do tamanho e separação dos componentes de acordo com o desejado. Dentre os processos pode-se citar: Cominuição, classificação granulométrica, classificação a ar, separação gravimétrica, líquidos densos, suspensões, separação magnética e separação eletrostática.

3.1.1 COMINUIÇÃO

A cominuição é a operação unitária que visa reduzir o tamanho das partículas de 20 ou 10 mm a quase zero (DE ARAÚJO *et al.*, 2008). Pode ser efetuada pela ação de uma força bruta fragmentando a sucata pelo movimento de “martelos”, “bolas” ou “facas” dentro de um compartimento fechado. O mecanismo utilizado pode ser: pressão, impacto, abrasão ou corte. Dois tipos de moinhos são usados no processamento de resíduos sólidos: moinhos verticais e horizontais. Nos moinhos verticais, o resíduo entra pelo topo e deve ser quebrado de modo a passar o mais rápido possível pelos “martelos” ou “facas” em movimento, esvaziando os espaços entre as paredes do equipamento e os “martelos” ou “facas”. O controle do tamanho da partícula é ajustado pela distância entre os “martelos” ou “facas” e as paredes. Nos moinhos horizontais os “martelos” oscilam acima de uma grade que pode ser mudada dependendo do tamanho do produto requerido (HAYES, 1993).

JÄCKEL *et al* (2002) fizeram um estudo com vários tipos de moinhos, avaliando o tempo de moagem e o consumo de energia para vários tipos de materiais das placas de circuito impresso. Os melhores resultados foram obtidos com moinhos de facas e martelos como demonstrado também por RON E PENEV (1995)

3.1.2 CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA

A separação de partículas de diferentes tamanhos pode ser alcançada por diferentes caminhos. Mas, a mais usual é feita através de peneiras que são superfícies perfuradas ou vazadas sobre a qual se dá o movimento de partículas. As partículas menores que as perfurações tendem a passar através dessas perfurações, enquanto as partículas maiores permanecem acima da superfície vazada (DE ARAÚJO *et al.*, 2008). Esse processo separa o material somente pelo tamanho das partículas e não identifica o material por qualquer outra propriedade. Algumas vezes após essa etapa já é possível obter frações enriquecidas em certos materiais, os quais podem ser separados do fluxo principal (HAYES, 1993). Esta separação é função da diferença na moagem de materiais dúcteis ou frágeis, o que possibilita a formação de uma fração mais concentrada em um determinado material.

A eficiência do peneiramento pode ser afetada por vários fatores tais como material, densidade, distribuição do tamanho de partículas, forma das partículas, superfície das partículas, equipamento, superfície da peneira (área, % de área que é vazada, tamanho dos orifícios, forma dos orifícios e espessura da peneira), movimento (amplitude, frequência, direção), ângulo de inclinação e método de alimentação da peneira.

3.1.3 CLASSIFICADORES A AR

É possível se obter frações ricas em determinados materiais por meio do uso de classificadores pneumáticos para separar os diferentes materiais, baseando-se na diferença de densidade e formato das partículas (HAYES, 1993, SHAPIRO *et al.*, (2005)). BIDDULPH (1987) utilizou classificador a ar vertical para separação de resíduos sólidos e observou que o tamanho de partículas apresenta influência na eficiência de separação. ESWARAIAH *et al* (2008) também utilizaram um classificador vertical na separação plástico/metal. Esses autores mostraram que a variação da velocidade do ar também influencia significativamente a eficiência de separação. Eles observaram ainda que a discrepância entre os valores esperados e os encontrados foi maior para os metais que para os plásticos. Este comportamento foi atribuído à velocidade terminal das partículas, uma vez que uma pequena alteração no tamanho das partículas resulta em grande variação da velocidade terminal para os metais, que

possuem elevada densidade, enquanto que para os plásticos essa variação não é tão acentuada.

Outra variável que afeta bastante a eficiência do processo é o formato das partículas que é bastante irregular. Uma solução para este problema consiste em usar classificadores em zig-zag como será descrito na seção 6 do presente trabalho.

3.1.4 SEPARAÇÃO GRAVIMÉTRICA

É baseada na diferença de densidade que existe entre os diversos tipos de materiais. Originalmente todas as técnicas de separação e concentração gravimétrica foram baseadas na separação de minérios e também na limpeza de carvões, mas atualmente essas técnicas estão sendo adaptadas para outras áreas, até para a própria limpeza de águas usadas nos processamentos minerais, como mostra HAYES (1995).

Fazem parte de separação gravimétrica, entre outros processos, a utilização de líquidos densos e suspensões.

A técnica dos líquidos densos é usada para separar partículas sólidas por meio da diferença de densidade. As partículas que precisam ser separadas são imersas em um líquido que tem um valor de densidade entre os valores de densidade dos dois componentes que se pretende separar. As partículas mais pesadas vão para o fundo enquanto as partículas mais leves flutuam na superfície (RON E PENEV, 1995).

Para propostas de laboratório, compostos orgânicos, tais como tetrabromoetano (densidade de 2.96 g/cm3) e bromofórmio (densidade de 2,86 g/cm3) podem ser diluídos com solventes apropriados a fim de se obter a densidade desejada para a separação (DE ARAÚJO *et al.*, 2008 e VEIT *et al.*, 2001).

A técnica tem se mostrado bastante eficiente, pois torna possível separar os metais dos polímeros e cerâmicos. A desvantagem da técnica é a toxicidade dos líquidos orgânicos empregados e também o custo destes líquidos, sendo viável apenas para testes em laboratório.

A separação utilizando suspensões é um processo baseado na diferença de densidades entre dois produtos que se deseja obter, os quais são colocados em um líquido ou polpa com densidade intermediária, sendo que um destes produtos afunda, formando o chamado produto afundado, e outro flutua, o qual é chamado produto

flutuado. Essa técnica já é largamente utilizada no tratamento de carvão, para remover elevadas frações de cinza, no processamento de metais base, pedras preciosas e minério de ferro (HAYES, 1993).

3.1.5 SEPARAÇÃO MAGNÉTICA

Todos os materiais são afetados de alguma maneira pela presença de um campo magnético. Para objetivos práticos os materiais tratados em processos de seleção de partículas magnéticas, que se baseiam no movimento diferencial de materiais em campo magnético, podem ser divididos em duas grandes categorias (HAYES, 1993):

- Materiais Diamagnéticos, que são repelidos por um campo magnético e que se movem para posições de mais baixa intensidade de campo.
- Materiais Paramagnéticos, que são atraídos por um campo magnético e que se movem para posições de mais alta intensidade de campo.

Ferro, Ferri e Antiferromagnetismo podem, para os objetivos dessa discussão, ser considerados como casos especiais de paramagnetismo.

A magnitude de interação de um material com um campo magnético é frequentemente descrita em termos de suscetibilidade magnética X, onde X = M / H; sendo M a intensidade de magnetização do material e H o campo magnético aplicado. A intensidade do campo, B, dentro de um material sujeito a um campo magnético é dada pela expressão (HAYES, 1993):

$$B = \mu_o (H + M) \text{ (Tesla)} \qquad (1)$$

Onde μ_o é a permeabilidade magnética do vácuo.

Em materiais diamagnéticos e paramagnéticos as relações entre M e H são aproximadamente lineares, isto é, X é constante para um dado material.

Materiais diamagnéticos têm um valor negativo muito pequeno de X, materiais paramagnéticos têm pequena suscetibilidade positiva e materiais ferromagnéticos têm um grande valor, porém variável, dependendo do campo magnético aplicado e da prévia história magnética da amostra.

As propriedades magnéticas de um material são dependentes tanto da estrutura eletrônica dos elementos presentes quanto do arranjo dos átomos no sólido. Em resumo,

as características magnéticas do material dependem criticamente de diferentes fatores como: elementos presentes, seus estados de ionização e suas concentrações no sólido, da estrutura cristalina do sólido e no caso de ferro e ferromagnéticos, da história anterior do material.

MESINA *et al*. usaram um sensor eletromagnético para identificar e separar sucatas metálicas não ferrosas em diferentes grupos. Na Inglaterra, foi construída uma planta para separação de materiais ferrosos de lixo urbano usando três estágios de separação magnética com um cinturão magnético que consiste de uma correia transportadora em volta de um magneto permanente. Os materiais magnéticos são atraídos pelo magneto contra a correia transportadora. A correia transporta o material para fora do campo magnético onde ele se desprende (RON E PENEV, 1995).

3.1.6 SEPARAÇÃO ELETROSTÁTICA

A seleção de partículas sólidas de uma mistura pode ser feita utilizando as forças que atuam nas partículas carregadas ou polarizadas em um campo elétrico. Já que cada material tem suas próprias características elétricas isso resulta em movimentos diferentes das partículas no campo e sua subsequente seleção dentro de diferentes processos a base de um fluxo (HAYES, 1993, RON e PENEV, 1995).

BUCH *et al*., (1995) estudaram a aplicação de propriedades elétricas na separação de metais não ferrosos. São descritos os estudos quanto aos ajustes no aparelho e ao tamanho e forma das partículas a fim de melhorar os resultados de separação. DODBIBA *et al*., (2004) estudaram a aplicação em conjunto de vários processos mecânicos de separação, entre eles a separação a base de propriedades elétricas, na reciclagem de resíduos elétricos, principalmente cabos. Rem *et al*., também em 2004, estudaram a trajetória das partículas processadas com um separador de corrente parasita, investigando os efeitos da forma das partículas e a interação partícula-partícula.

A influência da forma das partículas oriundas de um processo de cominuição também foi estudada por FERRARA *et al*., (2000) em seu artigo a respeito da recuperação de plásticos através de separação gravimétrica e também por VEIT *et al*., (2002) em seu artigo a respeito de reciclagem de placas de circuito impresso usando separação gravimétrica.

3.2 TÉCNICAS ELETROMETALÚRGICAS

Os processos mecânicos levam a um enriquecimento de metais. Para aumentar a concentração de metais nos materiais processados mecanicamente e separá-los, existem várias técnicas: pirometalurgia, hidrometalurgia, eletrólise e biometalurgia. Em geral, usa-se mais de uma técnica.

3.2.1 PIROMETALURGIA

A pirometalurgia inclui processos de fusão, pirólise, sinterização, reações com fases gasosas a alta temperatura, entre outros.

O processamento pirometalúrgico convencional é essencialmente um mecanismo de concentração de metais em uma fase metálica e a rejeição da maioria dos materiais estranhos em uma fase escória (HOFFMANN, 1992).

Na incineração, a sucata cominuída, é queimada em um forno para destruir os polímeros, deixando um resíduo metálico fundido, que pode ser refinado eletrolíticamente ou pirometalúrgicamente (SUM, 1991).

O processamento pirometalúrgico aceita qualquer tipo de sucata eletrônica, não requerer um pré-tratamento e possui poucas etapas.

Embora os processos pirometalúrgicos sejam comprovadamente bem sucedidos, a pirometalurgia apresenta alguns problemas como a formação de dioxinas e furanos, perdas de metais por volatilização de cloretos, aumento da quantidade de escória nos fornos que leva a perda de metais nobres e de base, além disso, a recuperação de metais como Al, Zn é praticamente impossível (SUM, 1991, FELIX, HOBERG, 1993 e SPOEL, 1990).

3.2.2 HIDROMETALURGIA

O processamento hidrometalúrgico apresenta vantagens em relação aos processos prirometalúrgicos tais como menor risco de poluição atmosférica, separação mais fácil dos principais componentes da sucata e redução dos custos de processo.

As principais etapas no processamento hidrometalúrgico consistem de uma série de ataques de soluções ácidas ou cáustica (GLOE, 1990) para dissolver o material sólido. As soluções são, então, alvo de procedimentos que envolvem extração por solvente, precipitação, cementação, troca iônica, filtração e destilação para isolar e

concentrar os metais de interesse (SUM, 1991). Posteriormente, as soluções são tratadas por processo de eletro-refino, redução química, ou cristalização para a recuperação do metal. (Sum 1991, CUI E ZHANG 2008).

Uma série de processos hidrometalúgicos, incluindo lixiviação, separação, e recuperação tem sido empregada para a recuperação de metais valiosos de concentrados metálicos.

Os agentes lixiviantes mais comuns usados na recuperação de metais preciosos inclui cianetos, haletos, tiouréia e tiossulfato (KOLODZIEJ e ADAMSKI, 1984, QUINET et al. 2005, SHENG e ETSELL, 2007, HILSON e MONHEMIUS, 2006).

LEE *et al*. (2003) e FRÍAS *et al*.(2004) estudaram a recuperação de metais e também a regeneração de soluções usadas.

GLUSZCZYSZYN *et al*. estudaram a reciclagem de ouro de sucatas eletrônicas através da hidrometalurgia. Primeiramente, eles utilizaram o processamento mecânico, cominuição e separação magnética, para depois utilizar um método hidrometalúrgico.

VEJNAR (1990), também estudou a recuperação de ouro contido em placas de Circuito Impresso. O autor fez uma lixiviação das placas de circuito impresso em uma solução de H_2SO_4 durante 24 dias e obteve como resultado 0,25% em peso de ouro do total da amostra de PCI que era de 350 gramas.

LA MARCA *et al* (2002) a fim de recuperar paládio, ouro e prata de placas de circuitos impressos utilizou-se soluções lixiviantes como água-régia, tiouréia, HCl-NaCl e soluções de cianeto. Com o uso de água-régia foi possível recuperar 97% do ouro e 95% da prata. No caso da recuperação de paládio a solução de HCl-NaCl mostrou-se ineficiente atingir apenas 11% de recuperação.

VEIT *et al*.(2001) e Koyama *et al*. (2006) também utilizaram água régia para dissolver as PCIs com o objetivo, neste caso, de recuperar cobre e analisar o gasto energético.

KINOSHITA *et al*. (2003) recuperaram hidrometalurgicamente com o uso de HNO_3 metais de PCIs não montadas.

3.3 BIOTECNOLOGIA

No caso das sucatas eletrônicas, esse tipo de processo de reciclagem tem sido citado na literatura para recuperar, especificamente, ouro e digerir os metais presentes (BRANDL *et al*., 2001, SUM 1991 e NAKAZAWA *et al*., 2002). Esse processo é simples, barato e fácil de operar, entretanto, os longos períodos de "ataque" e a necessidade dos metais estarem expostos, como uma camada superficial, são limitações desse processo.

3.4 ELETROMETALURGIA

Os processos eletrometalúrgicos apresentam vantagens na recuperação de metais preciosos tais como poucas etapas, o concentrado desses metais a partir da eletrólise representa 95 – 97% do metal encontrado na sucata (a quantidade de metais preciosos no lodo anódico depois de fundição e de eletrólise como refinação é muito baixo), são aplicáveis em todos os tipos de sucatas contendo uma camada superficial de metais preciosos sobre um substrato de metal base, todos os metais preciosos podem ser dissolvidos simultaneamente ou seletivamente (se necessário), o substrato a base de cobre permanece inalterado e o eletrólito pode ser reciclado, sua grande limitação é o tipo de sucata eletrônica que pode ser usada como alimentação, ou seja, a sucata tem de ser pré-classificada (HOFFMANN, 1992).

Na literatura existem diversos estudos baseados em técnicas eletroquímicas com o objetivo de recuperar metais dos mais variados tipos de resíduos como pode ser visto nos trabalhos de SCOTT *et al* (1997), UBALDINi *et al*. (2003) e ABRANTES *et al*. (1995). Esses autores estudaram os assuntos envolvendo reciclagem de metais de soluções usadas da produção de placas de circuito impresso, a recuperação de metais de resíduos da indústria eletrônica e galvânica e uma análise minuciosa do comportamento eletroquímico de soluções contendo cobre através de ensaios de voltametria cíclica, respectivamente.

3.5 TÉCNICAS ELETROMETALÚRGICAS

Existem duas técnicas de eletrometalurgia aplicadas na recuperação de metais das PCIs, a eletrorrecuperação e o eletrorrefino.

No eletrorrefino os íons metálicos dissolvidos em uma solução são convertidos em depósitos sólidos cristalinos. Em uma solução de um sal metálico, o sal é dissociado

em um cátion carregado positivamente e um ânion carregado negativamente. Quando um potencial é aplicado entre dois eletrodos imersos nesta solução, o cátion carregado positivamente "migra" em direção ao catodo e o ânion carregado negativamente em direção ao anodo (GANNI e BREZOVEC, 1995 e KOYAMA *et al*, 2006).

No processo de eletrorrecuperação de cobre, a célula eletrolítica usada consiste de um anodo inerte e um catodo, colocado em uma solução aquosa contendo o metal de interesse. O cátodo pode ser uma chapa fino do metal puro ou uma chapa de aço.

Já no eletrorrefino a célula eletrolítica usada consiste de um anodo fundido do metal a ser refinado, contendo impurezas, e um catodo, que são colocados em um eletrólito contendo o metal em solução. O catodo é uma chapa do metal puro ou uma chapa de aço inox. Íons metálicos são dissolvidos do anodo impuro e passam através da solução para serem depositados no cátodo (HAYES, 1995 e MOATS *et al*).

AMER (2003) estudou métodos hidro e pirometalúrgicos para tratar o lodo anódico gerado no processo de eletrorrefino do cobre. CIFUENTES *et al*.(2002) estudaram o processo de Eletrodiálise para as soluções aquosas contendo sulfato de cobre, ácido sulfúrico, além das impurezas arsênio e antimônio típicas dos eletrólitos usados no eletrorrefino do cobre. Esses métodos são usados para o refino do cobre, metais preciosos, chumbo e estanho (KOYAMA *et al*, 2006).

4 ANÁLISE DE CUSTO PARA A MONTAGEM DE UMA COOPERATIVA DE TRABALHO

4.1 COOPERATIVAS

As cooperativas são formadas por associações de pessoas que têm interesses comuns e cujo objetivo principal é a prestação de serviços, visando o bem estar de seus associados. Existem vários tipos de cooperativas (cooperativas de crédito, sociais, de trabalho etc.), mas o presente trabalho será baseado nas cooperativas de trabalho. A cooperativa de trabalho pode ser micro, pequena ou média empresa, deve possuir todos os registros necessários e pagar impostos como qualquer empresa. Esse tipo de organização possui objetivos econômicos ligados à prestação de serviços pelos cooperados junto aos seus clientes, assim como objetivos sociais ligados aos convênios e benefícios que devem ser disponibilizados pela Cooperativa a seus associados. Busca a diferenciação de seus profissionais, ensinando e capacitando-os para atender as necessidades do mercado. (KERDNA, 2012).

As cooperativas de trabalho são regidas pela lei n° 5.764 de 1971 de 1971 (Política Nacional do Cooperativismo) que sofreu alterações com a lei n° 7.231 de 1984. Nesse tipo de empreendimento não há lucro e os cooperados devem receber o proporcional ao trabalho realizado. Caso haja sobra dos proventos, esses deverão ser investidos na cooperativa ou divididos entre os cooperados. A Previdência Social garante o direito à aposentadoria dos cooperados além de outros benefícios (KERDNA, 2012).

A Prestação de serviços das cooperativas deve se enquadrar no regime jurídico estabelecido pela Lei n° 8.949 de 1994 da portaria do Ministério do Trabalho de n° 925 de 1995. Essa Lei estabelece que não haja vínculo empregatício entre os seus associados. Os produtos fabricados pelos cooperados não são tributados. A tributação ocorre no momento da venda para o consumidor final (KERDNA, 2012).

Os trabalhadores de uma cooperativa de trabalho podem ser empregados (CLT-possuem FGTS, 13° salário, férias de 30 dias com acréscimo de um terço do salário, direito ao aviso prévio de 30 dias e possui cobertura nos primeiros 15 dias em que estiver afastado da empresa) ou Cooperado Associado (Sem FGTS, 13° salário, tem

direito a férias de 30 dias com acréscimo de um terço do salário, aviso prévio de 30 dias, e cobertura nos primeiros 15 dias em que estiver afastado da empresa).

4.1.1 COMO MONTAR UMA COOPERATIVA

Deve-se verificar a viabilidade econômica da cooperativa e responder alguns questionamentos tais como:

- Todos os interessados possuem as mesmas necessidades de trabalho e produção? A cooperativa é a melhor solução para esse caso?
- Os futuros cooperados estão dispostos a investir financeiramente nesse empreendimento?
- Os cooperantes terão benefícios?
- Os produtos ou serviços que serão oferecidos pela cooperativa terão um mercado consumidor?

Como primeira medida deve-se procurar a Organização das Cooperativas no seu estado para solicitar informações gerais. Além disso, pode-se verificar um modelo de estatuto e formulários que devem ser preenchidos. Reunir, pelo menos, 20 trabalhadores para fazer parte da cooperativa. Fazer o Estatuto Social da cooperativa verificando informações como: missão, objetivos, comercialização, fiscalização, exclusão, demissão, admissão, etc. Esse estatuto deve conter: a denominação da sede, área de ação e objeto da sociedade; os direitos e deveres dos associados; Informações sobre admissão, demissão e exclusão; capital mínimo, mínimo de quotas partes; definição das atribuições e seu funcionamento. Deve ainda ser aprovada em Assembleia Geral dos Sócios e elaborada uma Ata de constituição da cooperativa. Os votos e decisões dos cooperados devem ser acatados com base na assinatura destes. Deve-se encaminhar o Estatuto Social e a Ata com os demais documentos necessários (quatro vias da ata de Assembleia Geral e do estatuto da cooperativa, CPF e carteira de identidade do presidente da instituição, relação nominativa dos presentes, comprovante de residência do presidente, comprovante do local onde funciona a instituição - para a Junta comercial e; ficha cadastral do CNPJ, cópia de CPF e RG de todos os membros da diretoria, lista de associados - para a Receita Federal), para que sejam registradas no Cartório de Títulos e Documentos, na Receita Federal e na Junta Comercial para legalizar a cooperativa (KERDNA, 2012).

As cooperativas devem pagar os seguintes impostos:

- PIS (Programa de Integração Social): Deve ser descontado 0,65% do faturamento total da cooperativa;
- COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social): Incide em 3% sobre o valor da receita bruta da cooperativa;
- IRRF (Imposto de Renda Retido na Fonte): Deve haver um desconto na fonte sobre valores que são passados aos cooperados de 1.5%.
- FGTS (Fundo de Garantia Por Tempo de Serviço): Só é feito quando a cooperativa tem um funcionário contratado.
- INSS (Contribuição para o Instituto Nacional de Seguridade Social): deve-se retirar 11% do valor pago ao cooperado e repassar esse valor ao INSS (KERDNA, 2012).

4.2 CUSTOS

Para montar uma cooperativa é preciso saber quanto se deve investir e se o negócio é viável economicamente. Para isso, é necessário listar todos os custos (fixos e variáveis) e as receitas. A melhor maneira de visualizar isso é montando um fluxo de caixa.

4.2.1 ELABORAÇÃO DE UM FLUXO DE CAIXA

O fluxo de caixa obedece a uma sequência lógica, inicia com a Demonstração de Resultados do Exercício (DRE). Essa parte dos demonstrativos contábeis deve ser divulgada periodicamente, como estabelecido por lei (MOTTA e CALÔBA, 2012).

A DRE corresponde a todo o processo de dedução de custos, tributos e impostos incidindo sobre a receita, chegando ao lucro após o Imposto de Renda. Logo em seguida calcula-se o fluxo de caixa do projeto que corresponde à soma algébrica de todas as entradas ou disponibilidades e a subtração de todas as saídas. Dessa forma calcula-se ano a ano o fluxo de caixa do projeto, que permite o cálculo de indicadores como:

- Valor presente líquido descontado a uma dada taxa de juros: é o valor do capital a ser pago ou adquirido na data n, trazido para a data zero. Matematicamente:

$$VPL = \sum_{j=0}^{n} \frac{N}{(1+i)^n} \quad (2)$$

Onde VPL é o valor presente líquido, N é o valor futuro, i é a taxa mínima de atratividade, n o período em meses ou anos.

- Taxa interna de retorno (TIR): é um índice que mede a rentabilidade do investimento por unidade de tempo, necessita-se que haja receitas envolvidas e investimentos. Matematicamente, é o valor da taxa de desconto que anula o valor Presente líquido obtido pela soma algébrica de todos os fluxos de caixa (MOTTA e CALÔBA, 2012):

$$TIR = \sum_{j=0}^{n} FC_j.\{1|(1+i)\}^j = 0 \quad (3)$$

Onde i é a taxa de retorno ou TIR, FC_j é um fluxo de caixa qualquer, para j=[0; n], unidades % ao ano ou % ao mês, campo de definição: [-∞;+∞], tipo de função: polinômio em i de grau n.

- Payback – tempo necessário para recuperar tudo o que se investiu no projeto

4.2.2 AMORTIZAÇÃO DE EMPRÉSTIMOS OBTIDOS A LONGO PRAZO

Muitas vezes as empresas não possuem capital próprio para investirem em um dado projeto, então, recorrem ao sistema de financiamento. Quando um empréstimo é tomado em longo prazo, os juros são considerados em sua forma composta. As prestações são compostas da amortização do principal, mais juros incidentes sobre o saldo devedor. Existem vários sistemas de amortização de empréstimos, mas aqui será comentado somente o método da Tabela Price ou Sistema Francês por ser o mais empregado no Brasil. Esse método consiste em uma série de amortização, utilizando pagamentos em parcelas constantes ao longo de todo o prazo de pagamento.

As prestações são calculadas de acordo com a expressão da série anual uniforme abaixo (MOTTA e CALÔBA, 2012):

$$A = \frac{P\,.i\,(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (4)$$

Onde A é o pagamento, P é a quantidade emprestada efetivamente, n é o número de períodos, i é a taxa real de juros.

A amortização será dada por (MOTTA e CALÔBA, 2012):

$$a_x = A - J_x \quad (5)$$

$$J_x = S_{(x-1)}.i \quad (6)$$

Onde a_x é a amortização do principal no ano x, J_x são os juros no ano x, S_{x-1} é o saldo devedor no final do ano x-1.

Outra saída para quando a empresa não possui capital próprio, por exemplo, para realizar um trabalho usando uma determinada máquina, é o Leasing. O Leasing é uma operação realizada mediante contrato, no qual o dono do bem (arrendador) concede a outro (arrendatário), sua utilização por prazo determinado. É um financiamento de médio a longo prazo, que pode conter no contrato uma cláusula que permita ao arrendatário a compra ou a renovação ao final do prazo.

Os elementos básicos do Leasing são:

- Arrendadora: é a empresa de leasing, que investe seu capital na compra de um bem desejado por seu cliente. Entrega esse bem, garantindo sua posse, aluga ou arrenda por prazo determinado;
- Arrendatária: o usuário do bem arrendado. Pode ser pessoa física ou jurídica, paga contraprestações pelo uso do bem até o final do contrato. O contrato pode ser renovado;
- Fornecedor: é a empresa que possui o bem a ser vendido;
- Contrato de arrendamento mercantil: é o documento que vincula proprietário e usuário do bem;
- Objeto de arrendamento: é o bem específico que será arrendado;
- Período de arrendamento: é a duração estipulada do contrato;
- Contraprestações: é o valor devido periodicamente pelo arrendatário;
- Valor Residual Garantido (VRG): valor do bem ao final do contrato pelo qual a arrendatária possa adquirir o bem.

4.2.3 DEPRECIAÇÃO

A depreciação é um custo sem desembolso. É abatido dos lucros a cada exercício fiscal, resultando em menor imposto de renda a pagar (MOTTA e CALÔBA, 2012).

Existem vários métodos de estimativa de depreciação que podem ser classificados em (PAMPLONA e COSTA, 2012):

- Os que não levam em consideração os juros e os descontos como o do conceito do “bem como novo”, da avaliação direta; da taxa de números dígitos, da porcentagem fixa, da linha reta, das horas de funcionamento, da produção e da duração média da fábrica.
- Métodos que envolvem a teoria dos juros tais como o da anuidade e do fundo de amortização.

Nesse trabalho será empregado o método da linha reta (para maiores informações sobre depreciação consultar PAMPLONA e COSTA, 2012).

A depreciação pelo método da linha reta é dada por (MOTTA e CALÔBA, 2012):

$$d = \frac{(I - VR)}{n} \tag{7}$$

onde d é a carga de depreciação por período, I é o custo inicial, VR é o valor residual estimado, n é o prazo de depreciação do ativo.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

As placas de circuito impresso (PCIs) foram coletadas de computadores obsoletos que seriam descartados dos laboratórios da COPPE/UFRJ. Inicialmente, foi realizada uma desmontagem manual para remoção dos componentes eletrônicos, tais como capacitores, resistores, baterias e contatos elétricos (ricos em ouro). Após esta separação, as PCIs foram picotadas a um tamanho aproximado de 20 x 80 mm e em seguida foram cominuídas em moinho de facas tipo Wyllie a um tamanho inferior a 1,2 mm. O passo seguinte foi peneirar o material e concentrar os metais por meio do uso de um classificador tipo zig-zag. Por fim, foi feita a análise de custo do processo como um todo, testando algumas práticas para saber a melhor alternativa em cada situação.

5.1 CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA

A classificação granulométrica foi realizada em peneiras com as seguintes aberturas: 1,00; 0,85; 0,60; 0,42; 0,30; 0,2; 0,1 mm. Este procedimento foi realizado como uma primeira classificação do material. A partir dessa classificação, foram selecionadas amostras com tamanhos entre 0,85 – 0,60; 0,2 – 0,1 e < 0,1 mm para análises químicas.

5.2 CLASSIFICAÇÃO EM ZIG-ZAG

A separação dos metais dos demais materiais (plásticos e cerâmicos) presentes nas PCIs foi realizada em classificador zig-zag, usando amostra com tamanho de partículas entre 0,8 e 0,1 mm com vazão de ar variando de 8 a 19 m^3/h. A Figura 2 apresenta um esquema simplificado do classificador zig-zag (adaptado do modelo da USBM - United States Bureau of Mines) (SAMPAIO, 2005. AMBIENTE BRASIL, 2010) construído no Laboratório de Eletroquímica Aplicada do Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da COPPE/UFRJ.

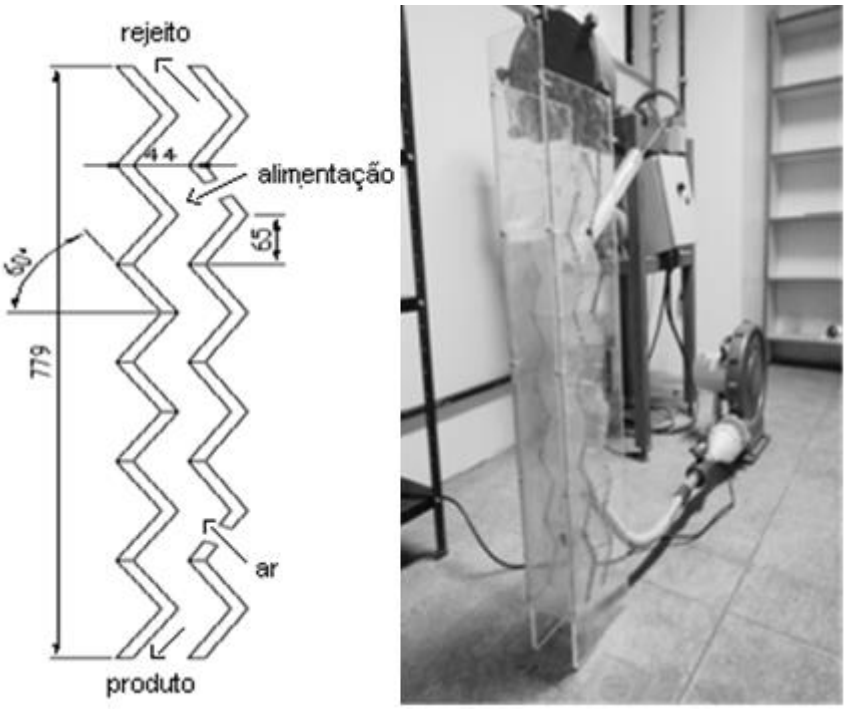


Figura 2. Esquema simplificado do Classificador zig-zag (adaptado do modelo da USBM - United States Bureau of mines) (SAMPAIO, 2005, AMBIENTE BRASIL, 2010), utilizado para concentrar os metais presentes nas PCIs.

O classificador possui uma área de seção transversal de 44 x 95 mm que muda de direção a cada 65 mm de altura e com declividade de 60° com a horizontal. A alimentação é realizada na parte superior do equipamento, enquanto que a injeção de ar é realizada pela parte inferior. Nesse tipo de classificador a vazão de ar e consequentemente, a velocidade linear, dependem da densidade do material assim como da área de seção transversal do equipamento. Dessa forma, para determinar a faixa de vazão de ar adequada para os ensaios foi construído o diagrama de Schtyl, utilizando as equações de 8 a 11 e os dados da Tabela 2. Este diagrama delimita as fronteiras entre leito fixo-fluidizado (equação 8) e leito fluidizado-transporte pneumático (equação 9). As coordenadas são o número de Reynolds (Re) e o número de Froude (Fr) e as retas superpostas representam o diâmetro das partículas (equação 10) e a velocidade linear do gás (equação 11). A partir do diagrama, os parâmetros operacionais foram reduzidos a apenas dois: tamanho de partículas e velocidade linear do gás (SULLIVAN, 1982).

$$Fr = \varepsilon^3(\rho_s - \rho_g)/\rho_g[150\frac{(1-\varepsilon)}{Re} + 1{,}75 \quad (8)$$

Onde ε é a porosidade mínima de fluidização, ρ_s é a densidade do sólido e ρ_g é a densidade do fluido (ar).

$$Fr = \frac{4}{3}\varepsilon^{4,65}\left(\frac{(\rho_s-\rho_g)}{\rho_s C_d}\right) \quad (9)$$

Onde ε tende a 1. Cd é o parâmetro usado para descrever o comportamento das partículas sólidas entre o leito fluidizado e o transporte pneumático (27) cujos valores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Números de Reynolds para diferentes valores de Cd (SULLIVAN, 1982).

	0,1	*10*	*10*	*100*	*1000*
C_d	**245**	**28**	**4,4**	**1,1**	**0,46**

$$\log Fr = 2\log Re + \log\frac{\mu^2}{g\,\rho_g^2\,d_p^3} \quad (10)$$

Onde μ é a viscosidade do fluido, dp é o diâmetro de partícula do material cominuído, u a velocidade linear do fluido, g a aceleração da gravidade.

$$\log Fr = -loogRe + log\left(\frac{u^3\rho_g}{\mu g}\right) \quad (11)$$

Onde μ é a viscosidade do fluido, u a velocidade linear do fluido, g a aceleração da gravidade.

5.3 ANÁLISES QUÍMICAS

Para quantificar a concentração dos metais presentes nas frações selecionadas, no peneiramento e na concentração em classificador zig-zag, foram utilizadas amostras de 1 g dissolvidas em 400 mL de água régia seguida de análise por absorção atômica, um espectrômetro modelo AA 6800 da Shimadzu. Para se quantificar o ouro presente nas aparas das PCIs, obtido por processamento manual, foi utilizada solução de HNO_3 7 $mol.L^{-1}$ seguido de filtragem e pesagem do ouro não dissolvido.

A caracterização qualitativa dos metais presentes nas amostras foi realizada em microscópio eletrônico de varredura (MEV), modelo JEOL – JSM 6460, acoplado a um sistema de espectroscopia de energia dispersiva (EDS).

Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico sem purificação suplementar e os ensaios foram realizados em duplicata.

6. RESULTADOS

As PCIs são compostas por materiais poliméricos (~30%), materiais cerâmicos (~30%) e materiais metálicos (~30%) (HE *et al*, 2006, XIU *et al* , 2009). A grande quantidade de metais e, a associação dos metais entre si ou com materiais não metálicos dificulta a separação dos mesmos.

Com o objetivo de se liberar os materiais metálicos, as PCIs foram picotadas e cominuídas. A Figura 3A apresenta a imagem de uma PCI contendo os constituintes elétricos e eletrônicos e a Figura 3B PCIs após cominuição.

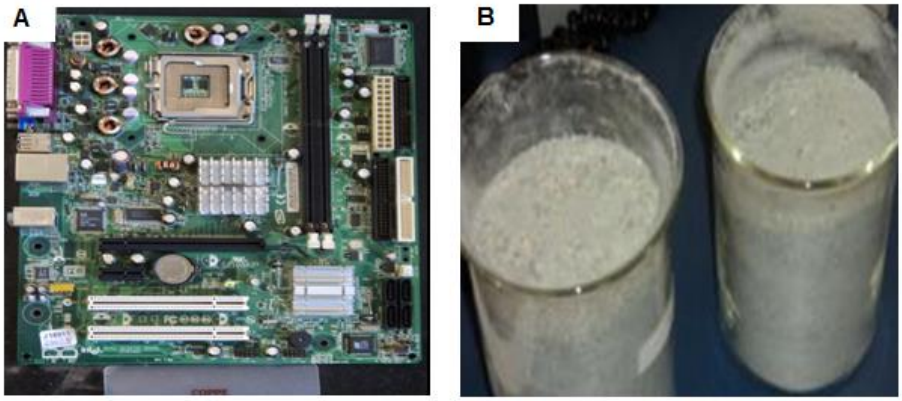


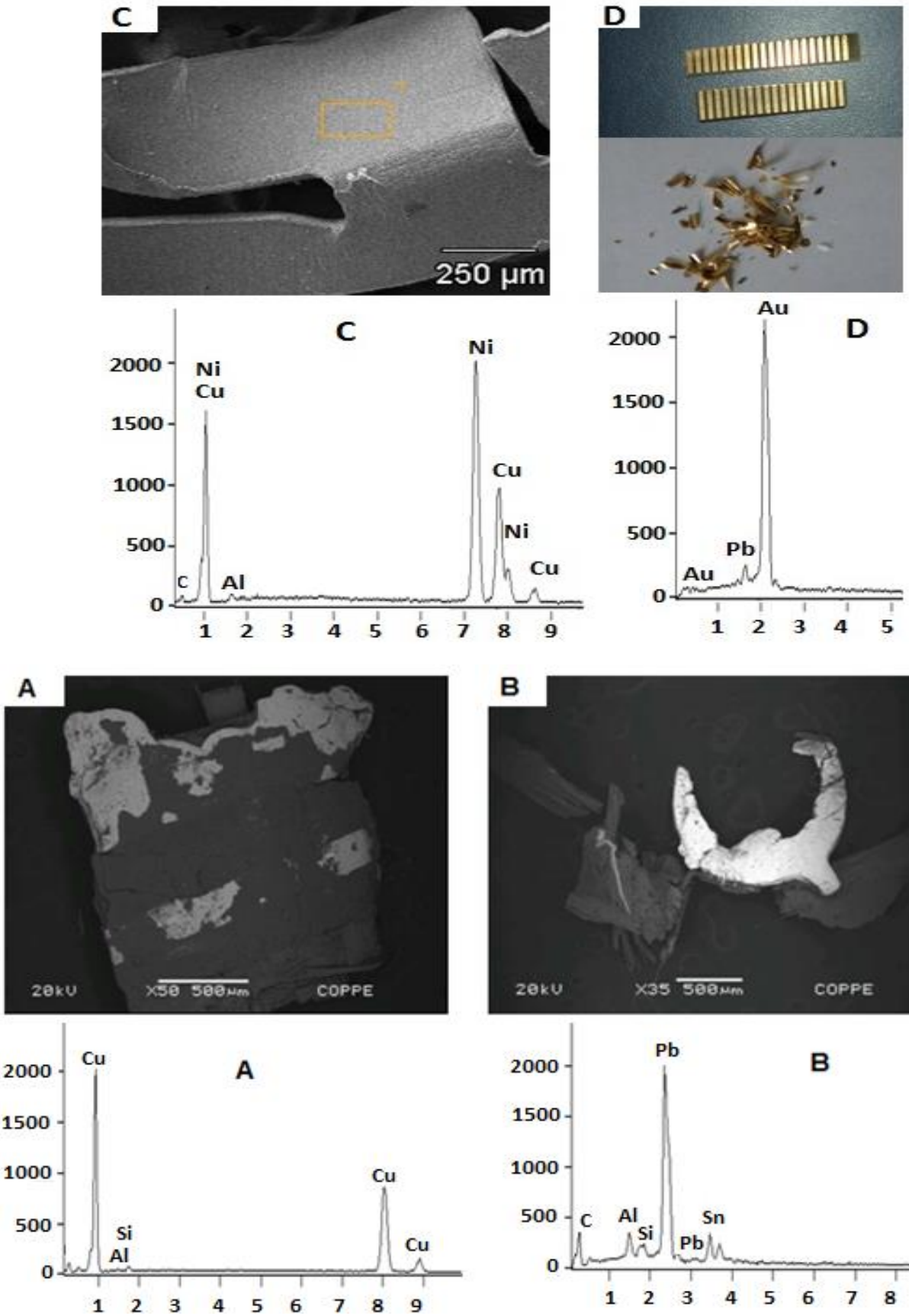
Figura 3. Imagens de uma PCI. (A) antes e (B) após cominuição.

A presença dos elementos metálicos, na amostra, foi identificada por MEV e EDS, conforme mostra a Figura 4. As micrografias das Figuras 4A, 4B, 4C, 4E e 4F foram obtidas após cominuição das PCIs. Através dos espectros de EDS, destas amostras, foi possível identificar a presença dos metais cobre (Cu), alumínio (Al), chumbo (Pb), níquel (Ni) e estanho (Sn). A presença de silício e carbono se deve aos materiais cerâmicos e poliméricos presente nas PCIs.

A micrografia e o espectro de EDS da Figura 4D foram obtidos das aparas (removidas por processamento manual) das PCIs onde se identifica, visualmente, maior concentração de ouro e as partículas de ouro removidas do substrato após a dissolução parcial do material das PCIs com HNO_3. O HNO_3 irá reagir com a maior parte dos

metais presentes, porém, praticamente não reagirá com o ouro, liberando-o. Uma das reações que ocorre para o cobre em presença de HNO_3 pode ser observada abaixo:

$$Cu + 4HNO_3 \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2H_2O + NO_2 \quad (1)$$


C
250 µm
D
C
Ni
Cu
Ni
Cu
Ni
Cu
C
Al
D
Au
Pb
Au
A
20kU X50 500µm COPPE
B
20kU X35 500µm COPPE
A
Cu
Si
Al
Cu
Cu
B
Pb
C
Al
Si
Pb
Sn

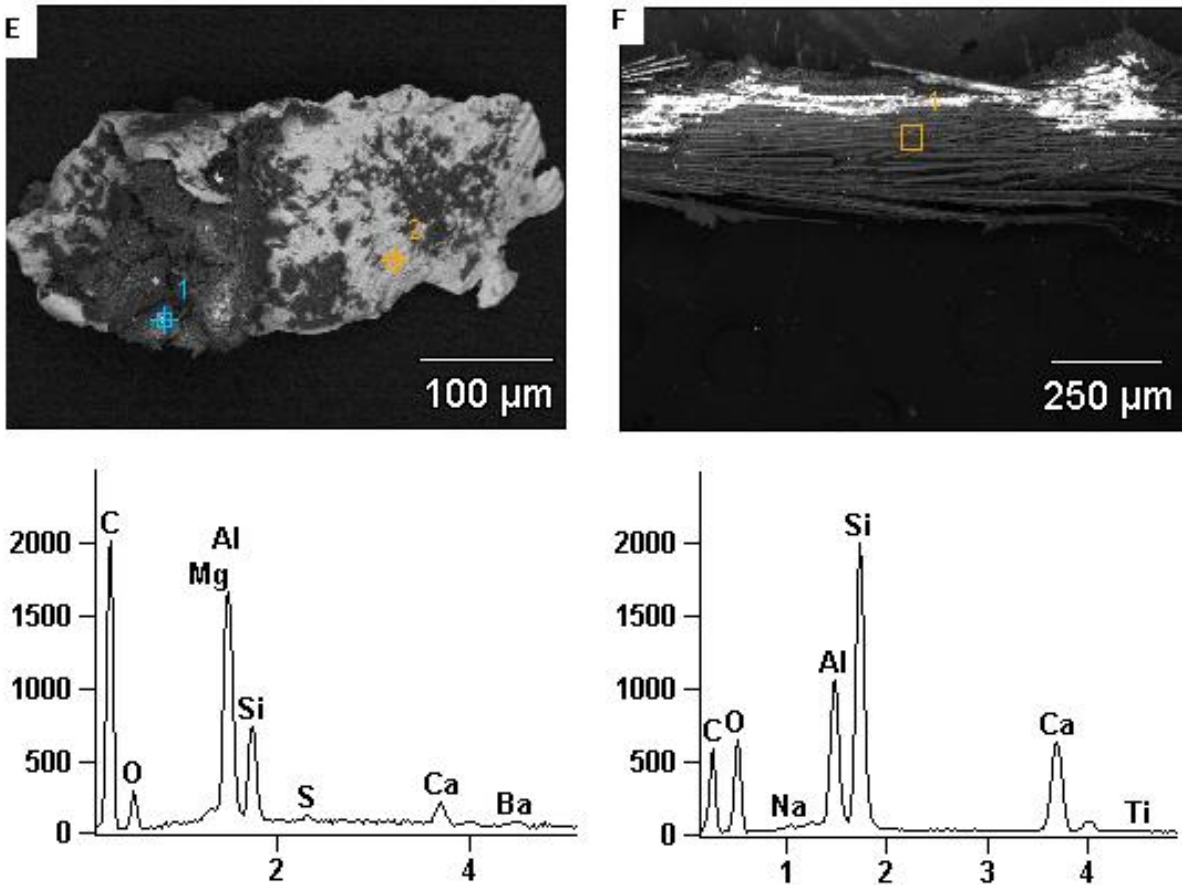


Figura 4. Micrografias obtidas por MEV e espectros de EDS. (A), (B), (C,) (E), (F), obtidas das PCIs após cominuição e (D) aparas das PCIs onde se concentra, visualmente, a maior concentração de ouro e partículas de ouro liberadas.

A concentração de ouro (após a análise química) contida nas aparas (Figura 4D) foi de 8.000 ppm, ou seja, 0,8 % (m/m). Este valor é bastante significativo quando comparado com o teor de ouro em minério de ouro que varia de 0,0001 a 0,001 %. De acordo com a literatura (BIDDULPH, 1987, HOFFMANN, 1992), a concentração de ouro em PCIs varia conforme o equipamento, modelo, etc. De qualquer forma, o aumento do teor de ouro obtido por processamento manual – cerca de 40 vezes – pode justificar seu processamento em separado.

A Figura 5 apresenta a distribuição granulométrica obtida por peneiramento das PCIs após cominuição em moinho de facas. Pode ser observado que, aproximadamente 50% da amostra é constituída por partículas de tamanho igual ou inferior a 0,8 mm.

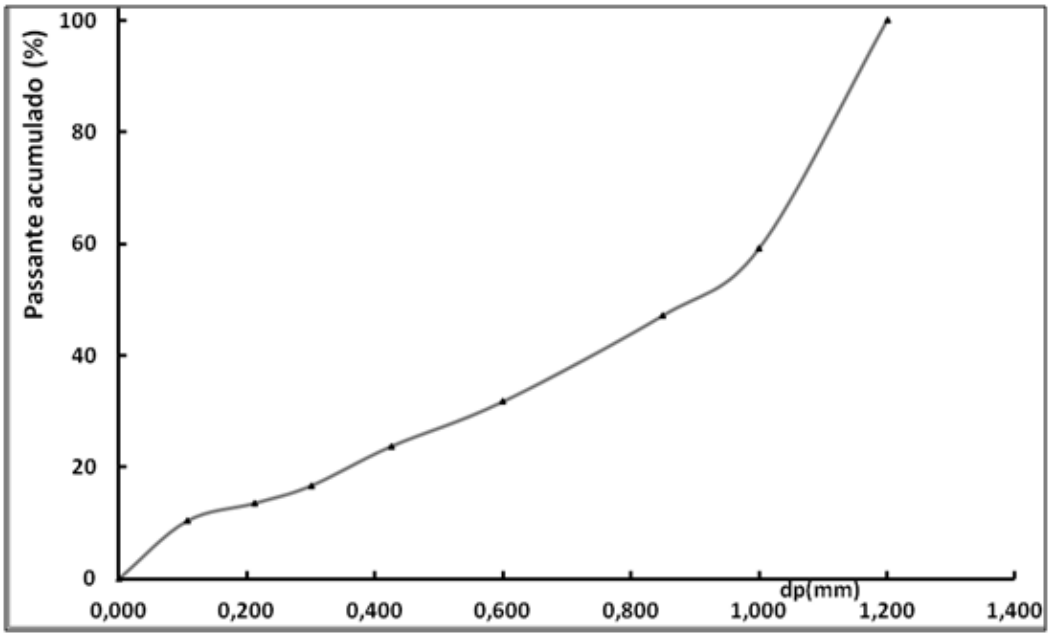


Figura 5. Passante acumulado em função do tamanho de partícula (Dp) das PCIs cominuídas.

A Tabela 3 apresenta a percentagem de cobre, zinco, níquel, alumínio, chumbo e estanho, metais identificados por MEV/EDS, presente nas seguintes faixas granulométricas: 0,85-0,60; 0,2-0,1 e abaixo de 0,1 mm. Essas faixas foram escolhidas para análise com o objetivo de saber se haveria segregação de metais em alguma dessas frações. Pode-se observar na Tabela 3 que as faixas de granulometria mais grosseiras possuem maior densidade média e consequentemente maior teor de metais, onde se destaca o cobre com cerca de 26%. Este comportamento pode ser atribuído ao fato de que os metais presentes nas PCIs, em geral, são dúcteis e maleáveis, sendo, portanto deformado, enquanto que os materiais cerâmicos são pulverizados e os poliméricos são picotados com facilidade pelas facas do moinho. A maior concentração de alumínio foi obtida na fração de menor granulometria. Esse resultado, provavelmente, se deve ao fato de que o alumínio se encontra presente na forma de óxido (alumina, Al_2O_3) composto duro e frágil.

Tabela 3. Percentagem de metais (m/m) presentes em PCIs após moagem e classificação em peneiras para diferentes faixas granulométricas.

Tamanho de partículas (mm)	Cu	Zn	Ni	Al	Pb	Sn	Densidade média (g/cm^3)
	(% m/m)						
$0,60<d_p<0,85$	26,41	2,25	0,47	0,95	4,38	10,1	2,59
$0,1<d_p<0,2$	13,82	1,46	0,65	0,9	5,65	10,73	2,2
$d_p<0,11$	2,11	0,06	0,24	3,88	0,75	1,64	1,9

Com o objetivo de se aumentar a concentração de metais, em especial a do cobre, o material cominuído na faixa entre 0,8 e 0,1 mm foi concentrado em classificador zig-zag. As vazões de ar selecionadas para cada faixa granulométrica (tamanho de partículas) foram estimadas com base no Diagrama de Schytill para tamanhos de partículas e velocidades lineares de ar adequadamente selecionadas, conforme mostra a Figura 6. O rejeito do processo foi separado para ser prensado e usado como carga na construção civil.

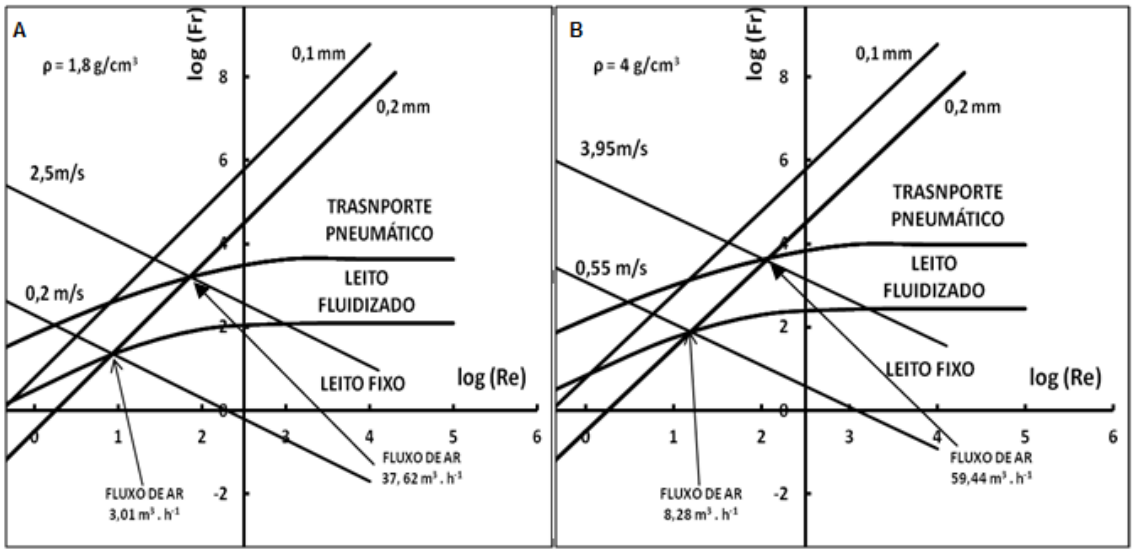


Figura 6. Diagrama de Schytil utilizado para determinação da vazão de ar adequada para separar os materiais poliméricos e cerâmicos dos metálicos. A) para materiais com densidade igual a 1,8 g/cm3. B) para partículas com densidade de 4 g/cm3.

A tabela 4 mostra os resultados obtidos após a passagem do material com tamanho de partículas nas faixas de 0,8-0,6; 0,6-0,4; 0,4-0,2; 0,2-0,1 mm em classificador zig-zag. A vazão do ar injetada no classificador foi de 15 m/s. Nesta etapa, apenas o teor de cobre foi quantificado. Os melhores resultados foram obtidos para a

faixa de tamanho entre 0,2-0,1 mm, na qual o teor de cobre no concentrado chegou a mais de 48% associado a uma recuperação de 88,1% (Figura 7) e razão de enriquecimento de 3,5 (quanto menor o tamanho de partícula, mais fácil à liberação dos diferentes materiais).

Tabela 4[1]. Resultados obtidos após a concentração do material cominuído nas faixas granulométricas entre 0,8-0,6; 0,6-0,4; 0,4-0,2; 0,2-0,1 mm em classificador zig-zag.

Dp	a_{metal}	c_m	$r._m$	a_{Cu}	c_{Cu}	r_{Cu}	*Rec.m*	*Rec.Cu*	τ_{Cu}	*v* (m^3/*h*)
0,1-0,2	39,5	89	11	13,82	48,7	2,2	82,3	88,1	3,5	15
0,2-0,4	40	70	18,7	20	48	17	72,7	61,5	2,4	17
0,4-0,6	47	68	30	28,9	42	30	64,7	69,1	1,5	19
0,6-0,8	40	70	22	30	42	22	65,6	56	1,4	19

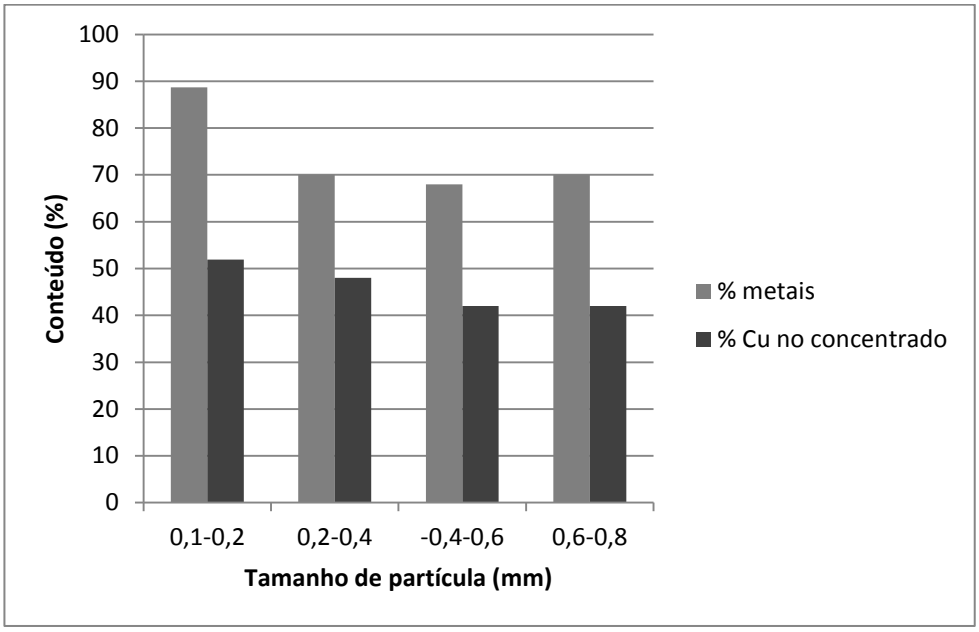


Figura 7. Teor e recuperação de cobre em função do tamanho de partícula para a vazão de 15 m3/h.

As partículas na faixa de tamanho entre 0,2-0,1 mm foram analisadas, fazendo-se variar a vazão de ar injetada de 8 m^3/h a 19 m^3/h. Os resultados podem ser vistos na tabela V e na Figura 8 abaixo.

[1] a_{metal}: % de metal na alimentação; a_{Cu}: % de cobre na alimentação; c_m: % de metal no concentrado; c_{Cu}: % de cobre no concentrado; r_m: % de metal no rejeito; r_{Cu}: % de cobre no rejeito; Rec.m: recuperação dos metais: Rec.Cu: Recuperação de cobre; τ_{Cu}: razão de enriquecimento do cobre; v: vazão de ar aplicada.

Tabela 5. Resultado da análise no classificador em zig-zag para a faixa granulométrica entre 0,2-0,1 mm e diferentes vazões de ar. a é a % de cobre na alimentação, c_{Cu} a % de cobre no concentrado, $c._m$ a % de metais no concentrado, r_{Cu} a % de cobre no rejeito, N rendimento, τ a razão de enriquecimento Va = velocidade de ar ascendente injetada no equipamento, Vt = velocidade terminal das partículas.

a	*VAZÃO (m^3/h)*	V_a/V_t	$c._m$	c_{Cu}	r_{Cu}	*Recuperação metais (%)*	*Recuperação Cu (%)*	*N (%)*	*τ*
13,82	19	0,32	0	0	13,81	0	0	0	0
	17	0,29	92	46,86	19,1	5	9,24	3,98	3,39
	15	0,26	90	51,98	15,26	20	24,31	8,62	3,76
	14	0,24	86	46,71	8,32	42	52,12	16,24	3,38
	13	0,19	82	48,77	5,99	82	82,32	36,37	3,53
	11	0,16	60	35,57	3,82	90	96,14	72,83	2,57
	8	0,14	43	14,97	4	99	98	90	1,08

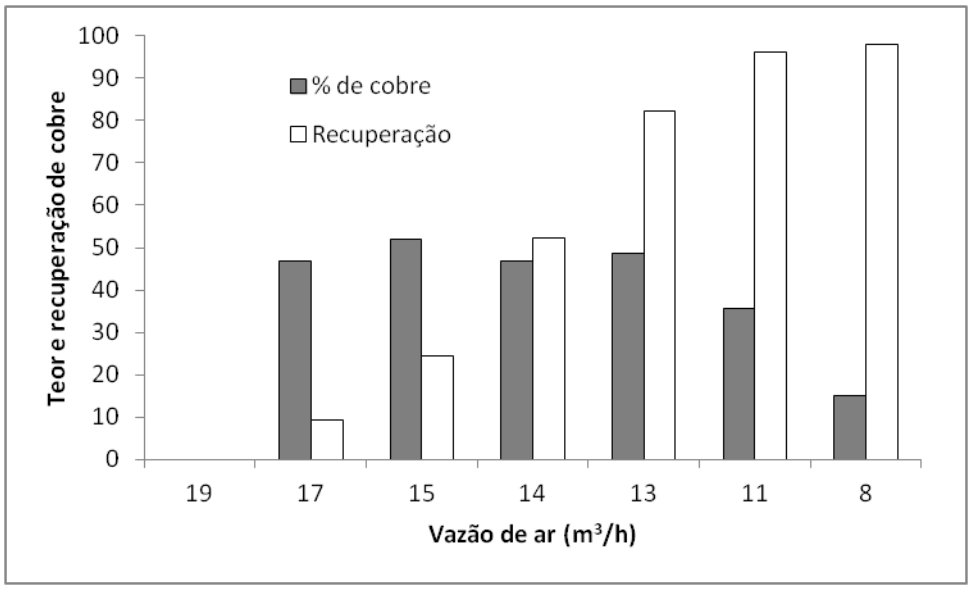


Figura 8. Teor e recuperação de cobre das PCIs do concentrado do classificador em zig-zag em função da vazão aplicada para o tamanho de partículas na faixa de 0,2-0,1 mm.

Comparando-se tabela V com a Figura 8, pode-se notar que a velocidade terminal das partículas de densidade 4 g/cm^3 foi superior a velocidade V_a aplicada (observe a Figura 6B). Observa-se que no regime de leito fluidizado o material já é separado eficientemente. Isso pode ser explicado porque durante a passagem do material pelo classificador, o mesmo está sujeito à ação de intensas forças de cisalhamento que promovem a ruptura de aglomerados. Deve-se levar em conta também a elevada turbulência gerada pela movimentação do fluido (ar) e o fato de que o formato das partículas (em forma de tábuas e agulhas – Figura 9) favorece mais ainda a separação nesse tipo de equipamento, sendo um fator mais importante do que a própria densidade do material.

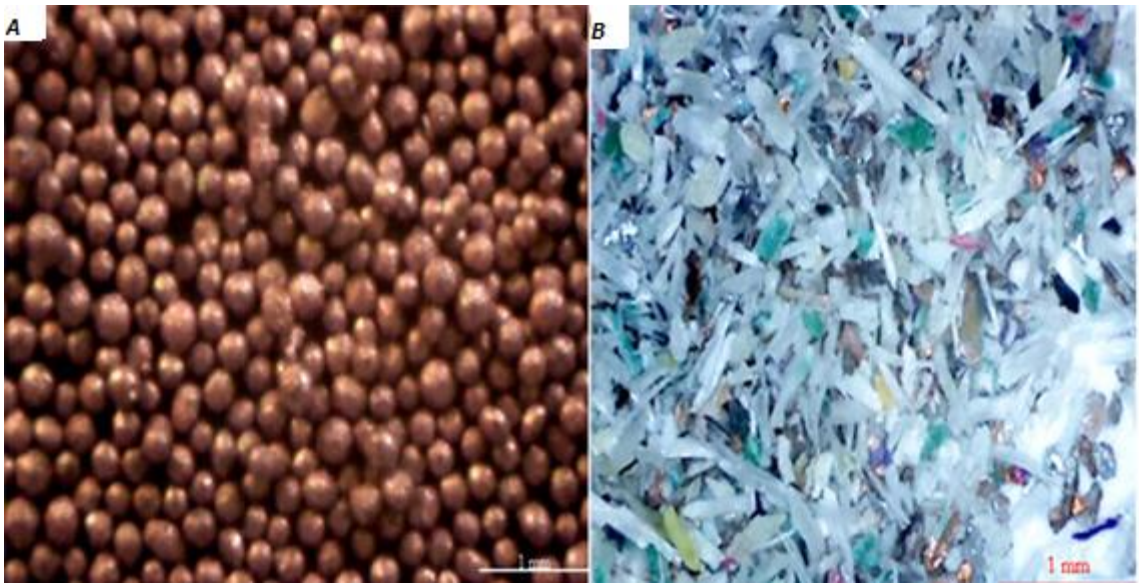


Figura 9. Diferença no formato de uma amostra de cobre padrão (Figura A) e de uma amostra do material cominuído das PCIs (Figura B) na mesma fração granulométrica.

Os resultados evidenciados nas Figuras 7 e 8 e na tabela 5, mostram que o teor de 48,8% de cobre associado a uma recuperação de mais de 88% e uma razão de enriquecimento de 3,5 é obtido para a vazão de 13 m^3/h, sendo essa vazão, portanto, a que fornece a melhor combinação de resultados. O aspecto do material cominuído e classificado no zig-zag pode ser observado na Figura 11, onde a figura 11A representa o concentrado (fração rica em metais) e a Figura 11B o rejeito (fração rica em polímeros e cerâmicos).

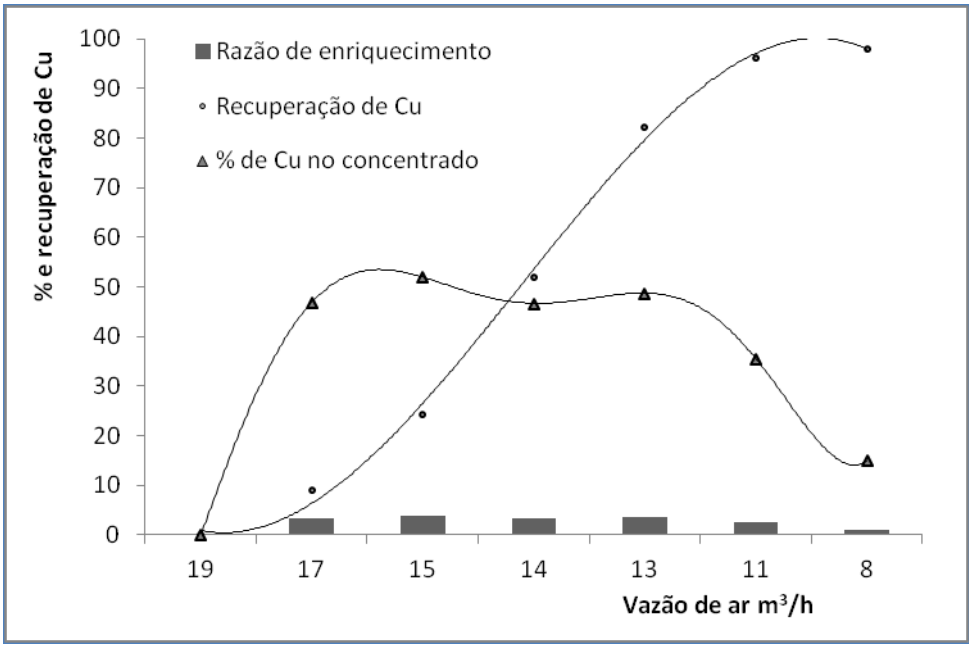


Figura 10. Teor, recuperação e razão de enriquecimento para o Cu das PCIs em função da vazão de ar aplicada no zig-zag.

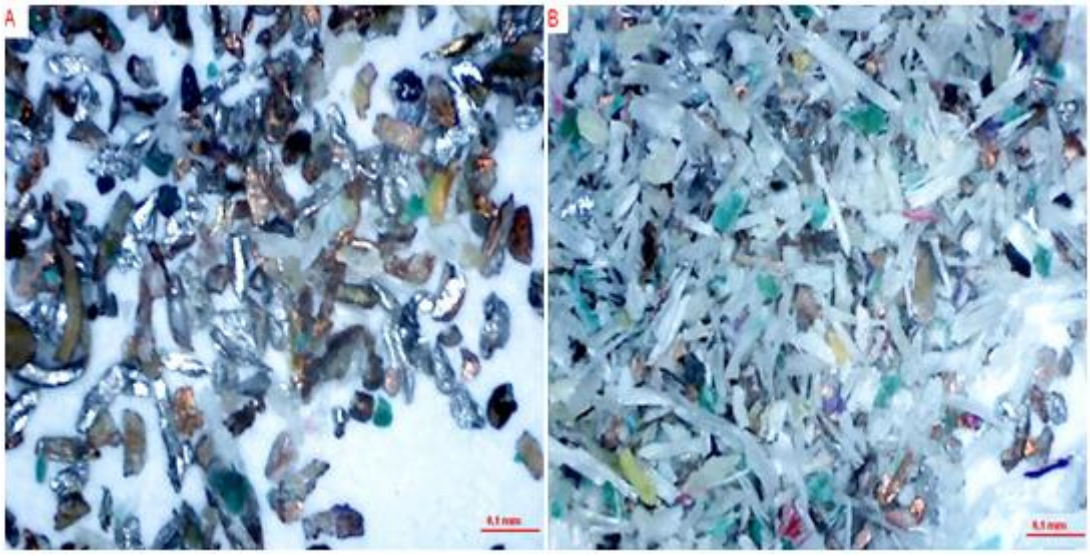


Figura 11. Aspecto do material cominuído das PCIs após passagem pelo classificador zig-zag. A) concentrado (fração rica em metais); B) rejeito (fração rica em materiais cerâmicos e poliméricos).

7 ANÁLISE DE CUSTO PARA A MONTAGEM DE UMA COOPERATIVA

Os dados da tabela abaixo resumem a quantidade de metais no concentrado das PCIs após o processamento descrito nas seções anteriores.

Tabela 6. Resumo dos teores dos metais contidos nas PCIs após concentração.

Teor de metais nas PCIs após concentração	
Concentração de Cobre	50,00%
Concentração de ouro	0,03%
Concentração de Pb	10,00%
Concentração de Sn	20,00%
Concentração de metais	90,00%
Conc. Ag	0,04%
Conc. Paládio	0,00%
Conc.Ni	2,00%
Com.Zn	1,50%

A quantidade de computadores necessários para a obtenção de 2 toneladas de PCIs[2], assim como a estimativa de componentes reutilizáveis desses equipamentos, podem ser vistos na Tabela 7.

Tabela 7. Número de computadores necessários para processar 2 toneladas de PCIs. Apresenta também a quantidade média de componentes que podem ser reaproveitados.

número aproximado de pcs em 2t de PCIs	330
número de coolers funcionais	111
número de dissipadores de calor	111
número de parafusos	16.500,00
Gabinetes	330
Teclado	111
Monitores	111
Baterias	111

O preço dos metais usados como referência para os cálculos nas seções seguintes são mostrados na Tabela 8.

[2] Valores calculados com base na média dos valores encontrados nos computadores desmontados no Laboratório de Eletroquímica Aplicada.

Tabela 8. Preço por grama dos metais[3].

Cu	Au	Pb	Sn	Ag	Pd	Ni	Zn	Al
R$ 0,02	R$ 116,00	R$ 0,04	R$ 0,04	R$ 9,00	R$ 100,00	R$ 0,04	R$ 0,00	R$ 0,00

No processamento de 2 toneladas de PCIs, aproximadamente 13% formará o material concentrado com os teores mostrados na Tabela 6. Nesse caso, corresponde a 0,26 toneladas (2 toneladas * 13%), sendo o restante rejeito. Para que essa produção seja possível é necessário possuir os equipamentos listados na Tabela 10 e um mínimo de 20 cooperados.

Para a compra dos equipamentos é necessário um desembolso de aproximadamente 359.000,00 reais, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9. Receita obtida após o processamento de duas toneladas de PCIs.

Discriminação	**Valores**	**Unidade**	**Preço total**
massa Cu no concentrado	130000	gramas	R$ 1.056,90
massa Au no concentrado	78	gramas	R$ 4.524,00
massa Pb no concentrado	26000	gramas	R$ 1.079,00
massa Sn concentrado	52000	gramas	R$ 556,40
massa Ag concentrado	91	gramas	R$ 409,50
massa paládio	9,1	gramas	R$ 455,00
Massa Ni concentrado	5200	gramas	R$ 104,00
Massa Zn concentrado	3900	gramas	R$ 8,07
Resíduo	42721,9	gramas	R$ 21,36
Serviço de coleta			R$ 2.000,00
[1]Número de coolers funcionais	111		R$ 1.110,00
[1]Número de dissipadores de calor	111		R$ 555,00
Número de parafusos	16.500,00		R$ 3.300,00
Gabinetes	330		R$ 3.300,00
[1]Teclado (em condições de uso)	111		R$ 1.110,00
[1]Monitores (em condições de uso)	111		R$ 2.220,00
[1]Baterias (em condições de uso)	111		R$ 66,60
Receita mensal*12			R$ 262.510,01

1 valores médios calculados em cima dos computadores desmontados no laboratório, sendo alguns dos laboratórios da COPPE/UFRJ, outros computadores pessoas.

[3] Fonte: http://www.shockmetais.com.br/lme/ http://ouroedinheiro.com/principal/ouro-prata-dinheiro-investimentos-cotacoes.htm. Acesso em 10/05/2012.

Tabela 10. Equipamentos necessários para a montagem da cooperativa.

Equipamento	Quantidade	Preço unitário	Preço total
Moinho	18	R$ 12.000,00	R$ 216.000,00
Picotadeira	2	R$ 13.000,00	R$ 26.000,00
Classificador em zig-zag	6	R$ 4.500,00	R$ 27.000,00
Peneirador	2	R$ 20.000,00	R$ 40.000,00
Caminhão para transporte	1	R$ 50.000,00	R$ 50.000,00
Investimento total	R$ 359.000,00		

Para fazer a Demonstração de Resultados dos Exercícios foi construída uma planilha no programa MICROSOFT EXCEL que se baseou nos dados da Tabela 11 abaixo. Essa planilha contém dados importantes como o preço do aluguel (caso o estabelecimento usado pela cooperativa venha ser alugado), gasto energético, investimento inicial, capital de giro (recursos para manter estoque, pagar fornecedores entre outros) etc. A planilha permite variar alguns parâmetros e escolher a melhor alternativa quanto à compra, financiamento pela Tabela Price ou Leasing. Deve ser lembrado que, no caso da escolha do leasing, não há depreciação nem valor residual. A DRE será feita anualmente, portanto, os valores mensais da tabela 6 serão multiplicados por 12, pois será feita a suposição de que 24 toneladas de PCIs sejam processadas no período de um ano.

Para o cálculo da depreciação foi usado o método da linha reta dada pela equação (7).

Tabela 11. Planilha construída para montar o fluxo de caixa do projeto. Os valores presentes referem-se à compra dos equipamentos (sem financiamento e sem leasing).

Selecione: **financiamento**, **à vista** ou **Leasing** no campo ao lado	FINANCIAMENTO		
Área	1000		m^2
Preço m^2	R$ 800,00		
Valor do imóvel	R$ 800.000,00		
% cobrada pelo aluguel/ano	0,4%		
Valor aluguel/ano	R$ 38.400,00		
Preço KWh	R$ 0,40		
Gasto energético/ano	R$ 40.583,43		
Gasto médio funcionários/ano	R$ -		
Investimento inicial	R$ 359.000,00		
Taxa de juros empréstimo/ano	11%		
Empréstimo (%)	30		do investimento
Valor do empréstimo	R$ 107.700,00		
Custos de transporte/tonelada.ano	R$ 2.400,00		
VR	35.900,00		
Depreciação	R$ 64.620,00		
Receita/ano	R$ 366.057,09		
Capital de giro	R$ 10.000,00		

Em seguida foi feito a Demonstração de Resultados dos Exercícios seguida do fluxo de caixa do projeto e por fim do fluxo final de caixa para três situações diferentes: pagamento à vista, com financiamento e com Leasing. Os impostos foram calculados de acordo com o exposto nesse trabalho na seção 4.1.1.

7.1 PAGAMENTO À VISTA

Para pagamento à vista dos equipamentos (no valor de 359.000,0 reais), foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela 12. Fluxo de caixa para o processamento de 24 toneladas de PCIs/ano, sem financiamento dos equipamentos.

Discriminação	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1.Demonstração de resultado						
Receitas		R$ 366.057	R$ 366.057	R$ 366.057	R$ 366.057	R$ 366.057
PIS		-R$ 2.379	-R$ 2.379	-R$ 2.379	-R$ 2.379	-R$ 2.379
cofins		-R$ 10.982	-R$ 10.982	-R$ 10.982	-R$ 10.982	-R$ 10.982
ICMS		R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -
ISS		-R$ 7.321	-R$ 7.321	-R$ 7.321	-R$ 7.321	-R$ 7.321
OUTROS						
Receita líquida		R$ 345.375	R$ 345.375	R$ 345.375	R$ 345.375	R$ 345.375
CPV		-R$ 81.383	-R$ 81.383	-R$ 81.383	-R$ 81.383	-R$ 81.383
Leasing		R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -
Lucro op. Bruto		R$ 263.991	R$ 263.991	R$ 263.991	R$ 263.991	R$ 263.991
Outras despesas						
IPTU		-R$ 8.000	-R$ 8.000	-R$ 8.000	-R$ 8.000	-R$ 8.000
Amortização de despesas pré-operacionais						
Depreciação		-R$ 64.620	-R$ 64.620	-R$ 64.620	-R$ 64.620	-R$ 64.620
juros		R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -
Encargos sociais e trabalhistas						
Lair		R$ 191.371	R$ 191.371	R$ 191.371	R$ 191.371	R$ 191.371
IRRF		-R$ 2.871	-R$ 2.871	-R$ 2.871	-R$ 2.871	-R$ 2.871
lucro após imposto de renda		R$ 188.501	R$ 188.501	R$ 188.501	R$ 188.501	R$ 188.501
2.Fluxo de caixa do projeto						
I.Discriminação	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Entradas/Disponibilidade	R$ -	R$ 253.120,86	R$ 253.120,86	R$ 253.120,86	R$ 253.120,86	R$ 299.020,86
Lucro após imposto de renda	R$ -	R$ 188.500,86	R$ 188.500,86	R$ 188.500,86	R$ 188.500,86	R$ 188.500,86
Empréstimos	R$ -					
Amortização de despesas pré-operacionais						
Depreciação		R$ 64.620,00	R$ 64.620,00	R$ 64.620,00	R$ 64.620,00	R$ 64.620,00
VR investimento						R$ 35.900,00
Valor do capital de giro						R$ 10.000,00
II.Saídas	R$ (369.000,00)	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -
Investimentos	R$ (359.000,00)					
Amortização de débto		R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -
Valor do capital de giro	R$ (10.000,00)					
Reposção Investimento						
Período (anos)	0	1	2	3	4	5
3.fluxo de caixa final						
Anual	R$ (369.000)	R$ 253.121	R$ 253.121	R$ 253.121	R$ 253.121	R$ 299.021
Acumulado	R$ (369.000)	R$ (115.879)	R$ 137.242	R$ 390.363	R$ 643.483	R$ 942.504
Auxiliar						
Payback (anos)						
Taxa interna de retorno (%a.a)	63%					
Taxa de juros (%a.m)	0,0%	6%	12%	18,0%	24%	93%
Valor presente	R$ 942.504	R$ 731.536	R$ 569.489	R$ 442.616	R$ 341.571	(R$ 105.277)

7.2 COMPRA FINANCIADA

Foi considerada a situação de financiamento de 30% do capital investido pelo método da Tabela Price como mostra a Tabela 13.

Tabela 13. Financiamento - Tabela Price.

Emprestimo Tabela Price						
Valor do emrpéstimo	R$	107.700,00				
taxa	10,9%	a.a				
Períodos	5					
		1	**2**	**3**	**4**	**5**
	PGTO	R$ 29.081,80	R$ 29.081,80	R$ 29.081,80	R$ 29.081,80	R$ 29.081,80
	Juros	R$ 11.760,84	R$ 9.869,39	R$ 7.771,40	R$ 5.444,30	R$ 2.863,08
	Amort.	R$ 17.320,96	R$ 19.212,41	R$ 21.310,41	R$ 23.637,50	R$ 26.218,72
	Acum.	R$ 17.320,96	R$ 36.533,37	R$ 57.843,78	R$ 81.481,28	R$ 107.700,00
	Saldo	R$ 90.379,04	R$ 71.166,63	R$ 49.856,22	R$ 26.218,72	R$ -

.

Tabela 14. Fluxo de caixa para financiamento de 30% do capital investido na compra dos equipamentos para o processamento de 24 toneladas de PCIs/ano.

Discriminação	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1.Demonstração de resultado						
Receitas		R$ 366.057	R$ 366.057	R$ 366.057	R$ 366.057	R$ 366.057
PIS		-R$ 2.379	-R$ 2.379	-R$ 2.379	-R$ 2.379	-R$ 2.379
cofins		-R$ 10.982	-R$ 10.982	-R$ 10.982	-R$ 10.982	-R$ 10.982
ICMS		R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -
ISS		-R$ 7.321	-R$ 7.321	-R$ 7.321	-R$ 7.321	-R$ 7.321
OUTROS						
Receita líquida		R$ 345.375	R$ 345.375	R$ 345.375	R$ 345.375	R$ 345.375
CPV		-R$ 81.383	-R$ 81.383	-R$ 81.383	-R$ 81.383	-R$ 81.383
Leasing		R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -
Lucro op. Bruto		R$ 263.991	R$ 263.991	R$ 263.991	R$ 263.991	R$ 263.991
Outras despesas						
IPTU		-R$ 8.000	-R$ 8.000	-R$ 8.000	-R$ 8.000	-R$ 8.000
Amortização de despesas pré-operacionais						
Depreciação		-R$ 64.620	-R$ 64.620	-R$ 64.620	-R$ 64.620	-R$ 64.620
juros		-R$ 11.761	-R$ 9.869	-R$ 7.771	-R$ 5.444	-R$ 2.863
Encargos sociais e trabalhistas						
Lair		R$ 179.611	R$ 181.502	R$ 183.600	R$ 185.927	R$ 188.508
IRRF		-R$ 2.694	-R$ 2.723	-R$ 2.754	-R$ 2.789	-R$ 2.828
lucro após imposto de renda		R$ 176.916	R$ 178.780	R$ 180.846	R$ 183.138	R$ 185.681
2.Fluxo de caixa do projeto						
I.Discriminação	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Entradas/Disponibilidade	R$ 107.700,00	R$ 241.536,43	R$ 243.399,51	R$ 245.466,03	R$ 247.758,22	R$ 296.200,72
Lucro após imposto de renda	R$ -	R$ 176.916,43	R$ 178.779,51	R$ 180.846,03	R$ 183.138,22	R$ 185.680,72
Empréstimos	R$ 107.700,00					
Amortização de despesas pré-operacionais						
Depreciação		R$ 64.620,00	R$ 64.620,00	R$ 64.620,00	R$ 64.620,00	R$ 64.620,00
VR investimento						R$ 35.900,00
Valor do capital de giro						R$ 10.000,00
II.Saídas	R$ (369.000,00)	R$ (17.320,96)	R$ (19.212,41)	R$ (21.310,41)	R$ (23.637,50)	R$ (26.218,72)
Investimentos	R$ (359.000,00)					
Amortização de débto		R$ (17.320,96)	R$ (19.212,41)	R$ (21.310,41)	R$ (23.637,50)	R$ (26.218,72)
Valor do capital de giro	R$ (10.000,00)					
Reposção Investimento						
Período (anos)	0	1	2	3	4	5
3.fluxo de caixa final						
Anual	R$ (261.300)	R$ 224.215	R$ 224.187	R$ 224.156	R$ 224.121	R$ 269.982
Acumulado	R$ (261.300)	R$ (37.085)	R$ 187.103	R$ 411.258	R$ 635.379	R$ 905.361
Auxiliar						
Payback (anos)						
Taxa interna de retorno (%a.a)	82%					
Taxa de juros (%a.m)	0,0%	6%	12%	18,0%	24%	93%
Valor presente	R$ 905.361	R$ 717.226	R$ 572.790	R$ 459.759	R$ 369.779	(R$ 27.525)

A Figura 12 mostra a comparação entre financiamento de 30% e 60%. Observe que, quanto maior o financiamento, maior a TIR. Até a taxa de juros de aproximadamente 11%, é preferível entrar com 100% de capital próprio ou optar pelo financiamento da menor parte do capital possível. Acima desse valor deve-se optar pelo financiamento da maior parte do capital investido.

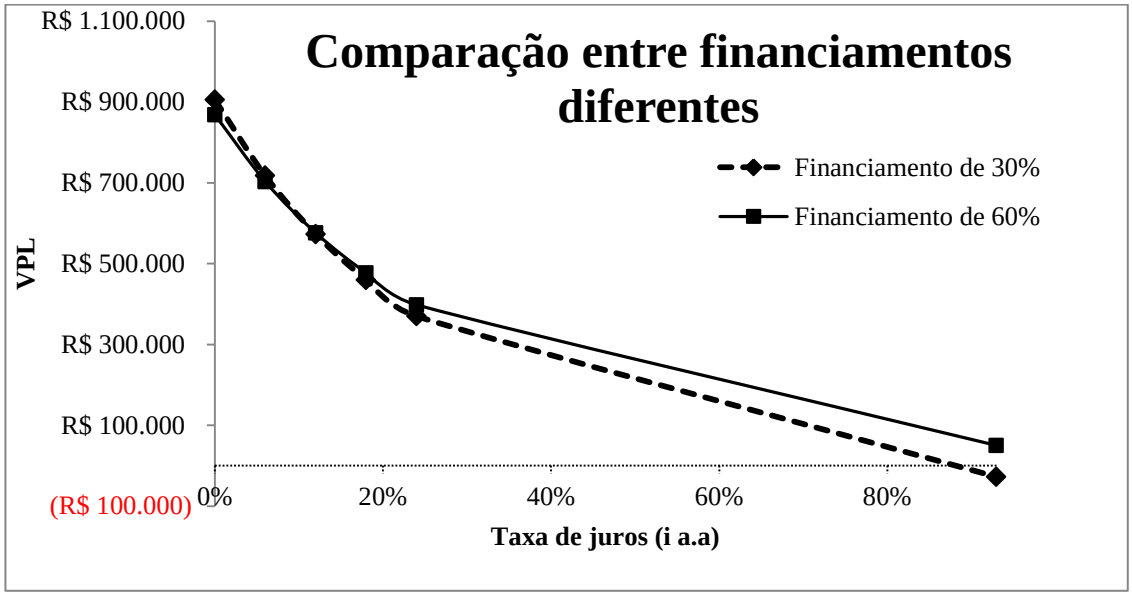


Figura 12. Comparação para investimentos com diferentes financiamentos.

7.3 LEASING

O valor da parcela a ser paga no leasing dos equipamentos necessários para o processamento de 24 toneladas de PCIs por ano é igual o investido acrescido de uma margem, que nesse caso será de 15% como mostra a Tabela 16 abaixo (a margem pode ser alterada na planilha). A anuidade a ser paga é calculada pela função da equação (4). Foi considerado um período de cinco anos.

Tabela 15. Leasing.

leasing	margem + investimento	pgto
	R$ 412.850,00	(R$ 123.159,58)
	Taxa	15%
	período	5

Tabela 16. Fluxo de caixa, considerando leasing para a obtenção dos equipamentos necessários para o processamento de 24 toneladas/ano das PCIs.

Discriminação	0	1	2	3	4	5
1.Demonstração de resultado						
Receitas		R$ 366.057	R$ 366.057	R$ 366.057	R$ 366.057	R$ 366.057
PIS		-R$ 2.379	-R$ 2.379	-R$ 2.379	-R$ 2.379	-R$ 2.379
cofins		-R$ 10.982	-R$ 10.982	-R$ 10.982	-R$ 10.982	-R$ 10.982
ICMS		R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -
ISS		-R$ 7.321	-R$ 7.321	-R$ 7.321	-R$ 7.321	-R$ 7.321
OUTROS						
Receita líquida		R$ 345.375	R$ 345.375	R$ 345.375	R$ 345.375	R$ 345.375
CPV		-R$ 81.383	-R$ 81.383	-R$ 81.383	-R$ 81.383	-R$ 81.383
Leasing		-R$ 123.160	-R$ 123.160	-R$ 123.160	-R$ 123.160	-R$ 123.160
Lucro op. Bruto		R$ 140.832	R$ 140.832	R$ 140.832	R$ 140.832	R$ 140.832
Outras despesas						
IPTU		-R$ 8.000	-R$ 8.000	-R$ 8.000	-R$ 8.000	-R$ 8.000
Amortização de despesas pré-operacionais						
Depreciação		R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -
juros		R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -
Encargos sociais e trabalhistas						
Lair		R$ 132.832	R$ 132.832	R$ 132.832	R$ 132.832	R$ 132.832
IRRF		-R$ 1.992	-R$ 1.992	-R$ 1.992	-R$ 1.992	-R$ 1.992
lucro após imposto de renda		R$ 130.839	R$ 130.839	R$ 130.839	R$ 130.839	R$ 130.839
2.Fluxo de caixa do projeto						
I.Discriminação	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Entradas/Disponibilidade	R$ -	R$ 130.839,38	R$ 130.839,38	R$ 130.839,38	R$ 130.839,38	R$ 176.739,38
Lucro após imposto de renda	R$ -	R$ 130.839,38	R$ 130.839,38	R$ 130.839,38	R$ 130.839,38	R$ 130.839,38
Empréstimos	R$ -					
Amortização de despesas pré-operacionais						
Depreciação		R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -
VR investimento						R$ 35.900,00
Valor do capital de giro						R$ 10.000,00
II.Saídas	R$ (10.000,00)	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -
Investimentos	R$ -					
Amortização de débto		R$ -	R$ -	R$ -	R$ -	R$ -
Valor do capital de giro	R$ (10.000,00)					
Reposção Investimento						
Período (anos)	0	1	2	3	4	5
3.fluxo de caixa final						
Anual	R$ (10.000)	R$ 130.839	R$ 130.839	R$ 130.839	R$ 130.839	R$ 176.739
Acumulado	R$ (10.000)	R$ 120.839	R$ 251.679	R$ 382.518	R$ 513.358	R$ 690.097
Auxiliar						
Payback (anos)						
Taxa interna de retorno (%a.a)	1308%					
Taxa de juros (%a.m)	0,0%	6%	12%	18,0%	24%	93%
Valor presente	R$ 690.097	R$ 575.442	R$ 487.692	R$ 419.220	R$ 364.861	R$ 127.148

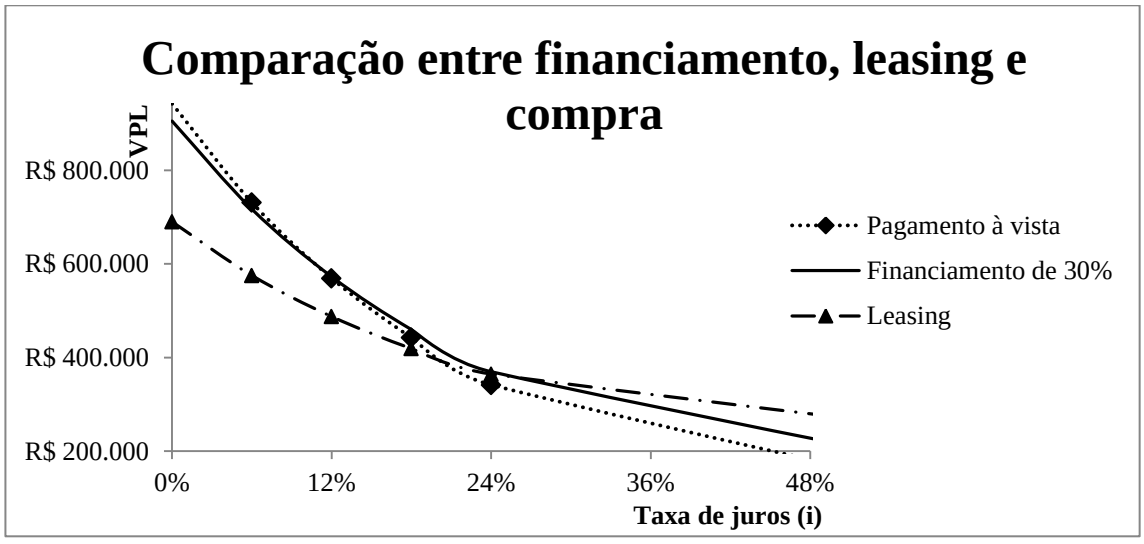


Figura 13. Comparação entre financiamento, leasing e compra.

A Figura 13 mostra que para taxas de juros inferiores a 11% é melhor a compra dos equipamentos à vista, entre 11 e 26% é melhor o financiamento, já acima de 26% é melhor optar pelo leasing (quanto maior o valor presente líquido, melhor). Observe também na Figura 12 que quanto maior for o valor financiado, maior será a taxa de retorno do projeto. Se considerássemos somente o payback, a comparação entre compra à vista e financiada levaria a escolha direta do financiamento uma vez que este possui menor tempo para pagar a dívida adquirida (1,17 anos para financiamento contra 1,5 anos para compra à vista) como pode ser visto nas Tabelas 14 e 12. Mas observe que, seja por meio de compra, financiamento ou leasing, o investimento é viável economicamente.

A tabela 17 mostra que os cooperados terão uma renda média mensal de, aproximadamente, R$ 844,79, considerando a opção com 100% de capital próprio. Esse valor é superior ao salário mínimo em 24, 6%, considerando o salário base como sendo R$ 678,00.

Tabela 17. Valor a ser recebido por cada cooperado depois dos descontos do fundo indivisível e do INSS.

Discriminação	0	1	2	3	4	5
% da receita para o fundo indivisível		10%				
Valor do fundo indivisível anualmente		R$ 25.312,09	R$ 25.312,09	R$ 25.312,09	R$ 25.312,09	R$ 29.902,09
Receita - fundo indivisível		R$ 227.808,77	R$ 227.808,77	R$ 227.808,77	R$ 227.808,77	R$ 269.118,77
Desconto do INSS		R$ 25.058,96	R$ 25.058,96	R$ 25.058,96	R$ 25.058,96	R$ 29.603,06
Valor a ser divido entre os cooperados anualmente		R$ 202.749,81	R$ 202.749,81	R$ 202.749,81	R$ 202.749,81	R$ 239.515,71
Valor mensal/cooperado		R$ 844,79	R$ 844,79	R$ 844,79	R$ 844,79	R$ 997,98

8 CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que após classificação granulométrica por peneiramento, aproximadamente 50% da amostra era composta por partículas com granulometria igual ou inferior a 0,8 mm. A análise química mostrou que uma maior concentração de metais foi obtida nas frações de maior granulometria. Com um simples peneiramento, foi obtido aproximadamente, 13,82 % de cobre na fração granulométrica compreendida entre 0,2 e 0,1 mm. Após a concentração do material em classificador zig-zag o teor de cobre ficou em torno de 48,8% no concentrado, tendo sido obtido um material com cerca de 3,5 vezes mais cobre que o obtido apenas com peneiramento. A recuperação de cobre das PCIs cominuídas foi superior a 88%.

Dessa forma, os resultados mostraram que a concentração de cobre contido em PCIs por peneiramento e classificador zig-zag se mostrou eficiente. O classificador zig-zag pode ser aprimorado para melhorar a taxa de alimentação e permitir o uso de vazões mais elevadas. Assim, como é necessário testar novas faixas de tamanho para melhorar a eficiência do processo.

O projeto para a montagem de uma cooperativa de trabalho é viável economicamente.

Para taxas menores que 11%, é preferível a compra dos equipamentos, entre 11 e 26% é melhor a alternativa de financiamento e acima de 26% é melhor optar pelo leasing.

Os cooperados terão uma renda mensal 24,6% superior ao salário mínimo vigente no país e terão todos os benefícios legais garantidos já que possuirão carteira assinada.

9 REFERÊNCIAS

ABRANTES, L. M., ARAÚJO, L. V., LEVI, M. D., 1995. "Voltammetric studies on copper deposition/dissolution reactions in aqueous chloride solutions". *Minerals Engineering*, v. 8, n. 12, pp. 1467-1475.

AMBIENTE BRASIL**.,** 2010. *Tratamento de Lixo Tecnológico no Brasil e União Européia*. Disponível em: www.ambientebrasil.com.br. Acessado em 14 out. 2010.

AMER, A. M., 2003 , "Processing of Copper Anodic-Slimes for Extraction of Valuable Metals". *Waste Management* , v. 23, pp. 763-770.

BERNARDES, A., BOHLINGER, I., MILBRANDT, H., RODRIGUEZ, D., WUTH, W., 1997 , "Recycling of printed circuit boards by melting with oxidizing/reducing top blowing process". In: *TMS ANNUAL MEETING*, Orlando, Florida, EUA.

BIDDULPH, M, W., 1987, "Design of vertical air classifiers for municipal solid waste, Can., J." *Chem. Eng*., v. 65, pp. 571-580.

BRANDL, H., BOSSHARD, R., WEGMANN, M., 2001, "Computer-munching microbes: metal leaching from electronic scrap by bacteria and fungi". *Hydrometallurgy*, v. 59, pp. 319-326.

BUCH, R., DILLMANN, J., van der BEEK, A., 1995, "Reliable separation of nonferrous metals with eddy current separators**".** *Technik*, v. 36 n. 9, pp. 418-426.

CIFUENTES, L. l., et al., 2002, "On the Electrodialysis of Aqueous H_2SO_4 – $CuSO_4$ Electrolytes with Metallic Impurities". *Journal of Membrane Science*, v. 207, pp. 1-16.

CUI, J. e ZHANG, L., 2008, "Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review". *Journal of Hazardous Materials*, v. 158, pp. 228–256.

DAS, S. C., PANDA, B., 2001, "Electrowinning of Copper from Sulfate Electrolyte in Presence of Sulfurous Acid"**.** *Hydrometallurgy*, v. 59, pp. 55-67.

DE ARAÚJO, M.C.P.B., CHAVES, A.P., ESPINOSA, D.C. & TENÓRIO, J.A.S., 2008, "Electronic scraps - Recovering of valuable materials from parallel wire cables". *Waste Management*, v. 28, pp. 2177-2182.

DODBIBA, G. *et al*., 2004, "Dry separation of materials from waste electrical appliances". In: Rewas'2004 – *Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology*., pp. 2613-2621, Madrid, Spain.

ESWARAIAH, C., KAVITHA, T., VIDYASAGAR, S., NARAYANANN, S, S. 2008, "Classification of metals and plastics from printed circuit boards (PCB) using air classifier". *Chemical Engineering and Processing*. Índia, v. 47, pp. 565-676.

FEIO, R., 2011, *Gestão de projetos com o Microsoft Project 2010,* Lisboa, FCA.

FELIX, N., RIET, C., 1994, "Recycling of Electronic Scrap. Proceedings": *Precious Metals Conference*, pp. 159 -169, Vancouver, Canada.

FERRARA, G., BEVILACQUA, P., LORENZI, L., ZANIN, M. 2000" The influence of particle shape on the dynamic dense medium separation of plastics". *International Journal of Mineral Processing,* v. 59, pp. 225-235.

FERREIRA, D, C., SILVA, J, B., GALDINO, J, C, S., 2010, "Reciclagem de lixo eletrônico". Santa Cruz, Rio Grande do Norte, RN, v. 5, pp. 1-3.

FRÍAS, C., et al., 2004, "Valorization of effluents from the printed circuit boards manufacturing industry". In: Rewas'2004 – *Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology*. Madrid, Spain. pp. 2635-2644.

GANNI, H., BREZOVEC, P., 1995, "Recycle/recovery techniques for aqueous discharges from metal finishing operations". *Proceedings of the Symposium on Electrochemical Technology Applied to Environmental Problems*. The Electrochemical Society, pp. 95-12, 53-71.

GLOE, K., MÜHL, P., KNOTHE, M., 1990, "Recovery of precious metals from electronic scrap, in particular from waste products of the thick-layer technique", *Hydrometallurgy*, v. 25, pp. 99-110.

GLUSZCZYSZYN, A., ZAKRZEWSKI J., SMIESZEK, Z., ANYSZKIEWICZ K., 1990, "Secondary gold – recovery from electronic scrap in Poland. Recycling of

Metalliferous Materials". *IMM – The Institution of Mining and Metallurgy, April*. pp. 87-91. Birminghan, Inglaterra.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Lei No 11.387 de 2003. Disponível em: http://www.al.sp.gov.br. Acessado em 14/10/2010.

HAYES, P. C., 1995, "Process Selection in Extractive Metallurgy". *Haies Publications*, Austrália, v. 31, pp. 1-10, Brisbane, Austrália.

HAYES, P. C., 1993, "Process Principles in Minerals and Materials Production". *Hayes Publishing CO*, v. 29. pp. 1-5, Brisbane, Austrália.

HILSON, G., MONHEMIUS, A.J., 2006, "Alternatives to cyanide in the gold mining industry: what prospects for the future". *Journal of Cleaner Production*, v. 14, pp. 12-13, 1158-1167.

HOBERG, H., 1993, "Applications of mineral processing in waste treatment and scrap recycling", in: *Proceedings of the XVIII International Mineral Processing Congress, Sydney, Australia, 1993, Australasian Institute of Mining & Metallurgy, Parkville, Australia*, pp. 27.

HOFFMANN, J.E., 1992, "Recovery of Precious Metals from Electronic Scrap". *Journal of Metals*, v. 44, pp. 43 - 48.

HUANG, K; GUO, J; XU, Z., 2009, "Recycling of waste printed circuit board: A review of current technologies and treatment in China". *Journal of Hazardous Materials*, China, v. 164, pp. 399-408.

JACKEL, H. G., SCHUBERT, G., SANDER, S., 2002, "Size reduction of scrap by means of horizontal shaft shredders of the swing hammer type". In: *Recycling and Waste Treatment in Mineral and Metal Processing: Technical and Economic Aspects*, pp. 16-20, Junho, Lulea, Suécia.

KERDNA Produção Editorial LTDA. Cooperativa de Trabalho, 2012. Disponível em: http://cooperativa-trabalho.info/mos/view/Como_montar_sua_cooperativa/. Acesso em: 13 jan. 2012, 10:45.

KINOSHITA, T., AKITA, S., KOBAYASHI N., Nii, S., KAWAIZUMI, F., TAKAHASHI, F., 2003 “Metal recovery from non-mounted printed wiring boards via hydrometallurgical processing”, *Hydrometallurgy*, v. 69, pp. 73-79.

KOLODZIEJ, B. e ADAMSKI, Z., 1984, “Ferric chloride hydrometallurgical process for recovery of silver from electronic scrap materials”, Hydrometallurgy, v. 12n. 1, pp. 117-127.

KOYAMA, K., TANAKA, M., e LEE, J.C., 2006 “Copper Leaching Behavior from waste Printed Circuit Board in Ammoniacal Alkaline Solution”. *Materials Transactions*, v. 47 n.7, pp. 1788-1792.

LA MARCA, F., MASSACCI, P., PIGA, L., 2002, “Recovery of precious metals from spent electronic boards. In: Recycling and Waste Treatment in Mineral and Metal Processing”: *Technical and Economic Aspects*, 16-20 Junho, Lulea, Suécia.

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

MATTOS, 2008, “Os impactos ambientais causados pelo lixo eletrônico e o uso da logística reversa para minimizar os efeitos causados ao meio ambiente”. Rio de janeiro, RJ. pp. 5-7.

MESINA, M. B.; JONG, T. P. R.; DALMIJN, W. L., 2002, “Identification and characterization of non-ferrous scrap metals by using an electromagnetic sensor”. In: Recycling and Waste Treatment in Mineral and Metal Processing: *Technical and Economic Aspects*, pp. 16-20 Junho, Lulea, Suécia.

MMA. Disponível em: http://www.mma.gov.br. Acessado em out. 2010.

MOATS, M. S.; HISKEY, J. B.; COLLINS, D. W., 2000, “The Effect of Copper, Acid, and Temperature on the Diffusion Coefficient of Cupric Ions in Simulated Electro refining Electrolytes”, *Hydrometallurgy* 2000, v. 56, pp. 255-268.

MOTTA, R, R., CALÔBA, G, M., 2012, *Análise de Investimentos, Tomada de Decisão em Projetos Industriais.* 2 ed. São Paulo, Atlas.

NAKAZAWA, H., SHOUMING, W., KUDO, Y., 2002 “Bioleaching of Waste Printed Wiring Board using Thiobacillus ferrooxidans. In: Recycling and Waste

Treatment in Mineral and Metal Processing": *Technical and Economic Aspects*, pp. 16-20 Junho, Lulea, Suécia.

PAMPLONA, C, N, G., COSTA, L, M., 2012. *MATEMÁTICA FINANCEIRA, algumas de suas aplicações em engenharia: Depreciação, Seleção de alternativas e Vida Útil de Equipamentos*. 1ª ed. Rio de Janeiro.

PORTER, M. *Estratégia Competitiva - Técnicas para análise de indústrias e da concorrência*, Editora Campus, Ltda., 1980, trad. 1986.

QUINET, P., PROOST, A., VAN LIERD, A., 2005, "Recovery of precious metals from electronic scrap by hydrometallurgical processing routes". *Minerals and Metallurgical Processing Journal*, v. 22, n. 1, pp. 17-22.

RELATÓRIO "*Recycling - from E-waste to resources*", publicado em julho de 2009, Berlin – Alemanha.

REM, P., MARASPIN, F., BEVILACQUA, P., 2004, "Modeling the throw of metals and nonmetals in eddy current separations". *International Journal of Mineral Processing*, v. 73, pp. 1-11.

RON, A., PENEV, K., 1995 "Disassembly and recycling of electronic consumer products: an overview", Technovation 1995, v. 15, n.6, pp. 363-374.

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

SAMPAIO, C, H.; TAVARES, L, M., 2005. *Beneficiamento gravimétrico: Uma introdução ao processo de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade*. 1ª edição. Rio Grande do Sul: UFRGS, pp. 503-507, UFRGS Editora.

SCOTT, K., CHEN, X., ATKINSON, J. W., TODD, M., ARMSTRONG R. D., 1997, "Electrochemical recycling of tin, lead and copper from stripping solution in the manufacture of circuit boards". *Resources, Conservation and Recycling*, v. 20, pp. 43-55.

SHAPIRO, M. GALPERIM, V., 2005, "Air classification of solid particles: A review". *Chem. Eng. Process*, v. 44, pp. 279-285.

SHENG, P.P.; ETSELL. T.H., 2007 “Recovery of gold from computer circuit board scrap using aqua regia”, *Waste Management & Research* 2007, v. 25 n. 4, 280-383.

SPOEL, H., 1990 “The current status of scrap metal recycling”. *Journal of Metals*, April, v. 42, pp. 38–41.

SULLIVAN, G, V., STANCZYK, M, H., 1982. “Pneumatic beneficiation of mica”, *14th, International Mineral Processing Congress*, Toronto, C.I.M., paper v. 6.

SUM, E. Y. L.; “The recovery of metals from electronic scrap”. ***Journal of Metals***,v. 43, pp. 53-61, 1991.

TRIGUEIRO, C., 2012, “Brasil é campeão na geração de lixo eletrônico por habitante”: *Mundo sustentável*. Disponível em: http://www.mundosustentavel.com.br/2012/07/brasil-e-campeao-na-geracao-de-lixo-eletronico-por-habitante/. Acesso em: 10 dez. 2012.

UBALDINI, S., VEGLIÒ, F., QUARESIMA, R., FORNARI, P., 2003, “Recovery of valuable metals from electronic and galvanic industrial wastes by leaching and electrowinning”. *Waste Management* 2003 ,v. 23, pp. 245-252.

Universidade de São Paulo, 2012, “Lixo eletrônico da USP agora pode ter um destino sustentável”. *CCE*, 2012. Dispinível em: http://www.cce.usp.br/?q=node/266. Acessado em 11 dez. 2012.

VEIT, H. M; PEREIRA, C, C; BERNARDES, A, M., 2001 “Emprego do processamento mecânico na reciclagem de sucata de placas de circuito impresso”. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. UFRGS. Porto Alegre.

VEJNAR, P., HRABÁK, V., 1990, “Recovery of non-ferrous and precious metals from secondary raw materials**”.** *Recycling of Metalliferous Materials. IMM – The Institution of Mining and Metallurgy*. Abriu, pp. 275-281. Birminghan, Inglaterra.