

Separação do fio metálico do recobrimento de plástico em fios elétricos e de equipamentos eletroeletrônicos

Separation of metal wire from plastic coating on electrical and electronic equipment wires

DOI:10.34117/bjdv7n3-682

Recebimento dos originais: 08/02/2021

Aceitação para publicação: 01/03/2021

Luciana Kaercher

Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos
Universidade do Vale do Rio dos Sinos
Endereço: Rua Nonoai, 67, Bairro Freitas, Sapucaia do Sul - RS, 93218-290
E-mail: lukaercher@yahoo.com.br

Carlos Alberto Mendes Moraes

Professor dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Civil- PPGEC, e de
Engenharia Mecânica – PPGEM da UNISINOS
Universidade do Vale do Rio dos Sinos
Escola Politécnica
Endereço: Avenida Unisinos, 950 São Leopoldo, RS, CEP: 93022-750
E-mail: cmoraes@unisinos.br

RESUMO

Com o avanço da tecnologia e a troca cada vez mais rápida de produtos elétrico e eletrônicos, tem crescido a geração de resíduos desses equipamentos e conseqüentemente a falta de tecnologias para sua reciclagem. Um dos resíduos gerados desses equipamentos são fios e cabos elétricos e eletrônicos. Sem a recuperação dos materiais que compõem esses fios e a contínua extração de recursos naturais, haverá o esgotamento deles. Além disso, muitos resíduos são descartados de maneira incorreta em aterros sanitários ou industriais e até mesmo sendo separados com métodos agressivos ao meio ambiente como a queima dos fios e cabos que gera substâncias tóxicas, contaminando o solo, água e o ar. Esse trabalho faz uma avaliação para a separação do fio metálico do recobrimento plástico em fios e cabos elétricos visando a reciclagem destes materiais. O estudo tem como foco a separação de resíduos de fios e cabos elétricos e eletrônicos de cobre. Para propor a metodologia realizou-se estudos bibliográficos, coleta de informações sobre os principais tipos e dimensões de cabos recebidos em uma cooperativa de reciclagem de resíduos eletroeletrônicos, análises, caracterização dos materiais que compõem esses fios e testes. Nos testes realizados para determinar a eficiência de separação, a densificação e o posterior peneiramento obtiveram os valores menos eficientes, aproximadamente 6,72% dos materiais com maior concentração de cobre em fios de cabos paralelos obtiveram pureza com percentuais inferiores a 90%, já com a utilização do processo de repeneiramento em fios de cabos de dupla capa de policloreto de vinila, todo o material que passou pela última peneira, aproximadamente 8% da massa total, foi recuperado com 99% de pureza. Também foram levados em consideração para proposta a simplicidade e custo de fabricação considerando que ela será empregada em uma cooperativa de reciclagem de eletroeletrônicos.

Palavras-chave: REEE, Reciclagem de fios e cabos elétricos, Separação física.

ABSTRACT

With the advancement of technology and the increasingly faster exchange of electrical and electronic products, the generation of waste from this equipment has grown, and consequently the lack of technologies for its recycling. One of the residues generated from this equipment are electrical and electronic wires and cables. Without the recovery of the materials that make up these wires and the continued extraction of natural resources, they will be exhausted. In addition, many residues are discarded incorrectly in landfills or industrial landfills and even being separated with methods that are aggressive to the environment, such as burning the wires and cables, which generates toxic substances that contaminate the soil, water, and air. This work makes an evaluation for the separation of the metallic wire from the plastic coating in electric wires and cables aiming at the recycling of these materials. The study focuses on the separation of the residues of electrical and electronic copper wires and cables. To propose the methodology we conducted bibliographic studies, information collection about the main types and dimensions of cables received in a cooperative for recycling electro-electronic waste, analysis, characterization of the materials that compose these wires, and tests. In the tests performed to determine the separation efficiency, densification and subsequent sieving obtained the least efficient values, approximately 6.72% of the materials with the highest concentration of copper in parallel cable wires obtained purity percentages lower than 90%, whereas with the use of the re-sieving process in polyvinyl chloride double jacket cable wires, all the material that passed through the last sieve, approximately 8% of the total mass, was recovered with 99% purity. Also taken into consideration for the proposal were the simplicity and manufacturing cost considering that it will be employed in a cooperative for recycling electro-electronics.

Keywords: WEEE, Recycling of electrical wires and cables, Physical separation.

1 INTRODUÇÃO

Como resultado do avanço tecnológico e a descoberta de novos sites de exploração, a capacidade de recursos naturais vem mudando a um ritmo acelerado, encurtando sua limitação de tempo de exploração e consumo. Aliado ao crescimento da população mundial, o consumismo desenfreado acelerará o esgotamento desses recursos naturais. (TANIMOTO et al., 2010). Infelizmente esses materiais são finitos, o zinco, níquel e o estanho já são metais escassos e o alto valor das commodities refletiu no mercado em 2016. (VILLELA, 2016). O cobre, em 2017, sofreu alta de 30% e as projeções é que esse aumento deveria se manter até 2020 devido à escassez do metal e aumento da produção de carros, ônibus elétricos e híbridos para 27 milhões de unidades em 2027, o que gerará uma demanda extra de até 1,75 milhões de toneladas. (BARRÍA, 2018). Além disso, o cobre é parte essencial da infraestrutura de energia renovável, desde redes, painéis solares até turbinas eólicas e a alta nos preços ameaça encarecer a redução de gases de efeito estufa.

A importância da conservação desses recursos torna-se extremamente necessária, além da preservação do meio ambiente, pois muitos desses materiais tornam-se sucatas e são depositados em aterros sanitários ou industriais, sem passarem anteriormente pela reciclagem, gerando resíduos que contaminam o solo e água.

Uma das fontes geradoras que contribuem para a geração desses resíduos é a indústria de fios e cabos, ao fabricarem esses produtos e quando eles são descartados tanto pelas empresas como pelos consumidores. Segundo Christéen (2007), na Suécia aproximadamente 40.000 toneladas de fios e cabos se tornam resíduos todos os anos.

Em 2018, no Brasil, para a separação dos fios e cabos elétricos, ainda eram utilizados alguns métodos incorretos como a queima do envoltório plástico para a obtenção do metal, o que acarreta grandes impactos ambientais, pois a queima do plástico provoca a liberação de gases tóxicos que são nocivos ao solo, ar, água, humanos, fauna e flora, ou seja toda a biota. Dados da Associação Brasileira do Cobre (ABCOBRE, 2016), no ano de 2016 informaram que cabos e fios elétricos de cobre ao serem queimados geram vários contaminantes, além da dibenzo-para-dioxinas policloradas (PCDD)/ dibenzofuranos policlorados (PCDF), como o monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, cloreto de hidrogênio, metais pesados e cinzas. A queima incompleta ocorrida abaixo da temperatura de combustão (250°C a 700°C) resulta na geração de hidrocarbonetos e materiais particulados, além disso estabilizadores de chumbo, frequentemente estão inclusos em capas poliméricas de PVC e são liberados durante a queima. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COBRE (ABCOBRE), 2016). Esses plásticos queimados além de formarem estas substâncias nocivas, são materiais desperdiçados que poderiam ser reciclados. Em um cabo elétrico, por exemplo, o metal corresponde entre 40% a 90% do total de massa, o restante é constituído de plástico. (MOKSIN, STRISKA E TESTSMAN, 2011).

Analisando tanto as questões econômicas como ambientais, verifica-se que é essencial a reciclagem ou a recuperação dos componentes de material deste resíduo. Nas últimas duas décadas, o foco principal da reciclagem de fios e cabos tem sido o cobre e o alumínio devido ao alto valor agregado desses condutores tornando bastante atrativo sua separação e reciclagem, além disso agora, torna-se importante pela questão ecológica. (DÍAZ et al., 2018).

Os resíduos de fios e cabos podem ser classificados em dois tipos:

- a) Resíduos pré-consumo: são aparas industriais originadas na indústria de fios e cabos;

b) Resíduos pós consumo: gerados em reparos de equipamentos, eletroeletrônicos em final de vida útil e sem possibilidade de conserto, em reparo de máquinas, por empresas que utilizam fios e cabos para fazer instalações de redes públicas ou não, elétricas, telefonia e TV a cabo, além dos originados de reformas, de indústria de eletroeletrônicos e automobilística. (MATOZINHOS, 2012).

Tanto as propriedades dos produtos reciclados como origem e o estado de conservação dos resíduos definirão o valor comercial. (MATOZINHOS, 2012). É necessário para isso uma metodologia de separação que agregue valor econômico aos produtos a serem reciclados.

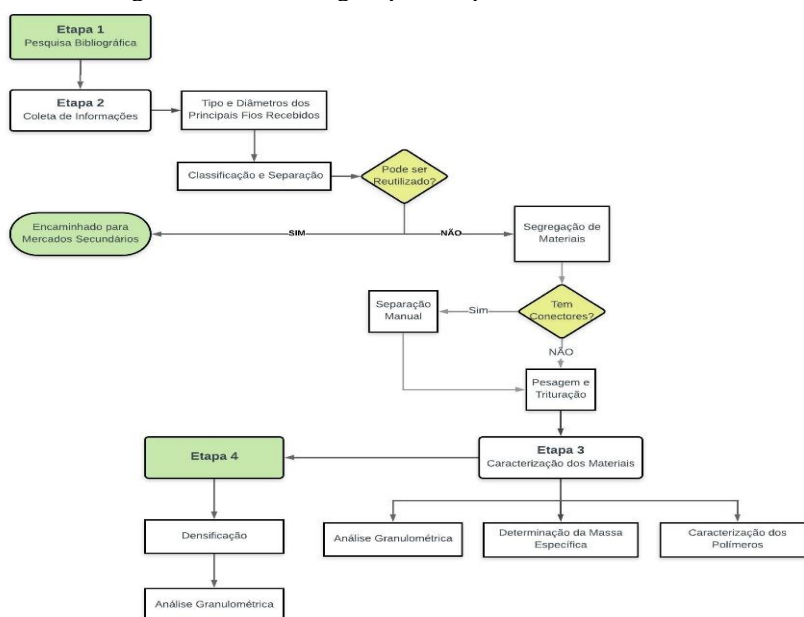
2 OBJETIVO

Avaliar a separação do fio metálico do recobrimento do plástico em fios e cabos elétricos visando a reciclagem destes materiais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foi realizada uma pesquisa de projetos mecânicos com comprovações técnicas de funcionamento a partir de bibliografias científicas e tecnológicas para avaliar os métodos de separação utilizados. Além disso, foram coletadas amostras de fios e cabos da cooperativa de reciclagem de resíduos eletroeletrônicos - Cooperativa Paulo Freire – localizada em Porto Alegre. As etapas da metodologia empregada são apresentadas no fluxograma da figura 1.

Figura 1: Fluxograma da metodologia aplicada para o desenvolvimento do trabalho.



As amostras coletadas foram separadas quanto a classificação em cabos dupla capa de policloreto de vinila (PP) e cabos paralelos. Após a separação, foram retirados os plugues dos cabos que os continham e pesado 1 kg de fio de cada tipo de amostra em balança plataforma digital da marca Urano, localizada no laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais (LCVMat) na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

As amostras foram trituradas no moinho tipo facas SEIBT do Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais da Unisinos. Essas amostras, pós moagem foram submetidas a análise granulométrica baseada na norma ABNT NBR 7181:2017, Solo – Análise granulométrica. O método utilizado para essa análise consistiu na utilização de 6 peneiras de inox, de caixilho 8” x 2” com diferentes tamanhos de malha, no agitador de peneiras para análise granulométrica SOLOTEST do tipo magnético do Laboratório de Materiais de Construção da UNISINOS. As peneiras utilizadas possuem aberturas de 4,75 mm, 3,35 mm, 1,70 mm, 0,850 mm, 0,212 mm e 0,106 mm, e foram montadas no agitador na ordem decrescente (da maior para a menor abertura). Cada amostra a ser peneirada foi dividida em 10 partes de aproximadamente 100 gramas (quantidade suficiente para não bloquear as malhas das peneiras seguintes com o material), despejada na peneira com maior abertura e exposta a uma carga vibracional de 8 Hz durante 15 minutos. Após o peneiramento dos dois tipos de amostras, foi pesado a quantidade de material que não passou em cada peneira (massa retida). Com esses valores foi calculado a porcentagem de material que passa em relação a massa total.

A análise de massa específica foi realizada em cada uma das amostras retidas em cada peneira. Também foi determinado a massa específica de cobre e do plástico individualmente para cada tipo de cabo triturado, para isso separou-se manualmente uma quantidade de material de polímero e cobre de cada tipo de cabo. Para realização das análises foi utilizado o método do picnômetro à Hélio, da marca Micromeritics, modelo AccuPyc II 1340, localizado no LCVMat, na UNISINOS.

Após processo de separação granulométrica e análise de resultados obtidos de massa específica para cada material, tendo em vista a quantidade de material não separado, fez-se necessário para avaliar meios de separação desse material de maneira eficiente, reclassificando-o. Como o método a ser proposto é para ser utilizado em uma cooperativa de reciclagem, é necessário que ele não utilize processamentos e pós-processamento de alto custo que consumam energia e gerem resíduos como efluentes líquidos e poeiras tóxicas.

Devido a todos esses fatores, realizou-se mais testes com a finalidade de propor uma metodologia de baixo custo e sem geração de resíduos secundários.

O primeiro teste consistiu em densificar o cobre e moer o polímero utilizando o moinho de bolas. O teste foi dividido em duas etapas, utilizando como critério amostras dos dois tipos de cabos que obtiveram a maior quantidade de material que não passou pela peneira (maior concentração de polímero e cobre) e com maior diâmetro não passante em relação aos outros resíduos. Na primeira etapa foi densificada (moída) a mistura de resíduos dos cabos PP e paralelo através do moinho de bolas horizontal da marca Servitech, modelo CT-248/B e na segunda os resíduos de cabo paralelo através do moinho excêntrico de bolas da marca BP Engenharia, modelo CB2 – T, ambos moinhos localizados no laboratório de materiais de construção da UNISINOS. Após a densificação e moagem o material foi peneirado através do processo de granulometria e verificado a quantidade de material recuperado de cobre.

O segundo teste consistiu na repeneiração de uma amostra de cabos PP, já classificada na fase granulométrica (sem passar pelo processo de moagem em moinho de bolas) de mesma classificação granulométrica da amostra que passou pelo moinho de bolas.

Para essa análise granulométrica foi usada a mesma norma descrita anteriormente, ABNT NBR 7181:2017, Solo – Análise granulométrica. Utilizando-se o agitador de peneiras para análise granulométrica da marca BERTEL do tipo magnético do laboratório de materiais de construção da UNISINOS e peneiras com aberturas diferentes das utilizadas na primeira análise, de 2,38 mm, 2 mm, 1,19 mm, 1 mm e 0,297 mm, com o intuito de obter menores tamanhos de partículas classificadas. As peneiras foram empilhadas em ordem de menor para maior abertura. As amostras foram de aproximadamente 100 g cada e expostas a carga vibracional de 8 Hz durante 15 minutos. A primeira amostra a ser separada foi a mistura de resíduos dos dois tipos de cabos, cabos PP e paralelo, segunda amostra a ser separada foi de resíduos de cabos paralelo e a terceira de resíduos de cabos PP classificados como 0,850 mm (não passado pelo moinho de bolas). No final dos testes, eles foram comparados e a seguir avaliou-se o melhor método de separação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Há uma variedade de tipos e dimensões de fios e cabos tanto retirados de aparelhos durante a fase de desmontagem quanto recebidos, de material metálico de cobre e alumínio revestidos com plásticos. Entre os cabos, os que mais são recebidos são os cabos paralelo e cabos PP de cobre e alumínio. As dimensões recorrentemente recebidas são de dimensão

externa nominal de 3 mm x 8 mm para cabos paralelos e diâmetro de 6 mm para cabos PP como mostra a figura 2. Então, foram definidos como critério da metodologia esses dois modelos de diâmetros de cabos recebidos.

Figura 2: Modelos de diâmetros de cabos elétricos definidos como critérios para o projeto.



Quanto aos materiais triturados, eles foram pesados e a massa da amostra de fio paralelo moído foi de 916,97 g, enquanto a massa da amostra de fio PP moído foi de 927,6 g

Os valores obtidos com os peneiramentos para os dois resíduos estão expressos nas tabelas 1 e 2:

Tabela 1: Análise granulométrica dos resíduos de cabo paralelo.

Malha	Peneiras		Massa Retida (g)	Massa que Passa (g)	Massa Retida (%)	Massa que Passa (%)
	Abertura (mm)					
4	4,75		50,01	866,96	5,45	94,55
6	3,35		30,77	836,19	3,36	91,19
12	1,70		356,86	479,33	38,92	52,27
20	0,850		220,05	259,28	24,00	28,28
70	0,212		226,29	32,99	24,68	3,60
140	0,106		32,49	0,5	3,54	0,05

Na tabela 1 verifica-se uma quantidade maior de massa retida na peneira de abertura 1,70 mm. Nessa mesma faixa de abertura aproximadamente 52 % dos resíduos passaram pela peneira, significando que 48% deles tem tamanho superior a 1,70 mm. Também se verifica que aproximadamente 5% de material tem tamanho superior a 4,75 mm e aproximadamente 3% tem tamanho superior a 3,35 mm.

Tabela 2: Análise granulométrica dos resíduos de cabo PP.

Malha	Peneiras		Massa Retida (g)	Massa que Passa (g)	Massa Retida (%)	Massa que Passa (%)
	Abertura (mm)					
4	4,75		20,08	907,52	2,16	97,84
6	3,35		46,27	861,25	4,99	92,85
12	1,70		551,75	309,5	59,48	33,37
20	0,850		157,05	152,45	16,93	16,43
70	0,212		126,26	26,19	13,61	2,82
140	0,106		25,89	0,3	2,79	0,03

Na tabela 2, verifica-se também, assim como na tabela 1, uma quantidade maior de massa retida na peneira de abertura 1,70 mm. Além disso, uma concentração maior de resíduos retidos em relação ao resíduo que passou, 59% da massa total de resíduos de cabos PP. Já os valores das partículas com tamanhos superiores a 3,35 mm e 4,75 mm, a porcentagem foi maior em partículas com tamanho de 3,35 mm com aproximadamente 5%.

A tabela 3 mostra o resultado obtido tanto massas específicas encontradas em cada abertura de peneira quanto a encontrada no polímero e no cobre para os resíduos de cabos PP.

Tabela 3: Análise de massa específica resíduos de cabos PP.

Abertura da Peneira (mm)	Massa Específica Medida do Polímero (g/cm ³)	Massa Específica Medida do Cobre (g/cm ³)	Massa Específica do Resíduo do Cabo PP (g/cm ³)
4,75			1,6911
3,35			1,5058
1,70	1,4160	6,2676	1,5201
0,850			2,2929
0,212			5,9377
0,106			6,1906

Nessa análise foi encontrado um valor de densidade igual a 6,2676 g/cm³ para o cobre, o que pode significar que há impurezas na amostra analisada. Observa-se ainda, que nas aberturas de 0,212 mm e 0,106 mm foi obtida uma massa específica bastante próxima do valor do cobre encontrado para esse resíduo, evidenciando que as amostras retidas na abertura de 0,212 mm que resultaram um valor de massa específica igual a 6,1906 g/cm³ possuem uma quantidade menor de partículas poliméricas misturadas a amostra.

Na tabela 4 verifica-se que a amostra granulométrica que possui a massa específica mais próxima do cobre eletrolítico (8,94 g/cm³) é a da peneira de abertura 0,212 mm da amostra de cobre de resíduo de cabo paralelo, igual a 7,9535 g/cm³, isso significa que nessa amostra foi obtida a maior concentração de cobre.

Tabela 4: Análise de massa específica resíduos cabo paralelo.

Abertura da Peneira (mm)	Massa Específica Medida do Polímero (g/cm ³)	Massa Específica Medida do Cobre (g/cm ³)	Massa Específica do Resíduo do Cabo Paralelo (g/cm ³)
4,75			2,3014
3,35			1,4862
1,70	1,3183	8,0662	1,6191
0,850			2,3312
0,212			7,9535
0,106			6,3143

Verifica-se que a maior quantidade de massa retida está nos resíduos que tem abertura de peneira de 1,70 mm e massa específica de 1,52 g/cm³ para o cabo PP e 1,61 g/cm³ para os cabos paralelos. E, ao diminuir a abertura das peneiras, a massa específica aumenta, diminuindo a contaminação por partículas de polímero.

Relacionando as massas específicas encontradas no cobre e no polímero para os dois tipos de cabos, com as massas e as massas específicas dos resíduos retidos em cada peneira foi calculado uma estimativa da porcentagem de cobre e polímero presente em cada tipo de cabo. Para resíduos onde a massa específica está próxima a massa específica do PVC, calculou-se a massa do polímero e obteve-se os valores descritos nas tabelas 5 e 6.

Tabela 5: Estimativa de massa de cobre e polímero nos resíduos de cabo PP.

Abertura da Peneira (mm)	Massa Retida na Peneira - Resíduo Cabo PP (g)	Estimativa Massa de Polímero (g)	Estimativa Massa de Polímero (%)	Estimativa Massa de Cobre (g)	Estimativa Massa de Cobre (%)
4,75	20,08	16,81	83,73	3,27	16,27
3,35	46,27	43,51	94,04	2,76	5,96
1,70	551,75	513,96	93,15	37,79	6,85
0,850	157,05	96,99	61,76	60,06	38,24
0,212	126,26	6,65	5,26	119,61	94,74
0,106	25,89	0,32	1,23	25,57	98,77
Total	927,3	678,24	73,14	249,06	26,86

Os valores estimados somados da massa de cobre correspondem a 26,86% de todo material moído para os resíduos de cabo PP.

Tabela 6: Estimativa de massa de cobre e polímero nos resíduos de cabo paralelo.

Abertura da Peneira (mm)	Massa Retida na Peneira - Resíduo Cabo Paralelo (g)	Estimativa Massa de Polímero (g)	Estimativa Massa de Polímero (%)	Estimativa Massa de Cobre (g)	Estimativa Massa de Cobre (%)
4,75	50,01	28,65	57,28	21,36	42,72
3,35	30,77	27,29	88,70	3,48	11,30
1,70	356,86	290,56	81,42	66,30	18,58
0,850	220,05	124,44	56,55	95,61	43,45
0,212	226,29	3,16	1,40	223,13	98,60
0,106	32,49	7,06	21,72	25,43	78,28
Total	916,47	481,16	52,50	435,31	47,50

Os valores obtidos na tabela 6 demonstram um valor de 47,5 % de massa de cobre e 52,50 % de polímero para os resíduos de fio elétrico paralelo. Segundo Araújo et al. (2008) foram recuperados 46,4% de cobre em 9 kg de cabos paralelos utilizando a separação granulométrica. A porcentagem estimada de cobre ficou muito próxima ao obtido por Araújo et al. (2008) em sua recuperação para o mesmo tipo de cabo.

Verifica-se que mesmo após a trituração dos resíduos, grande parte deles continuam com partículas maiores de 2 mm, aproximadamente 58% da quantidade total e menos de 2% das partículas têm tamanho entre 1,19 mm e 1 mm classificado.

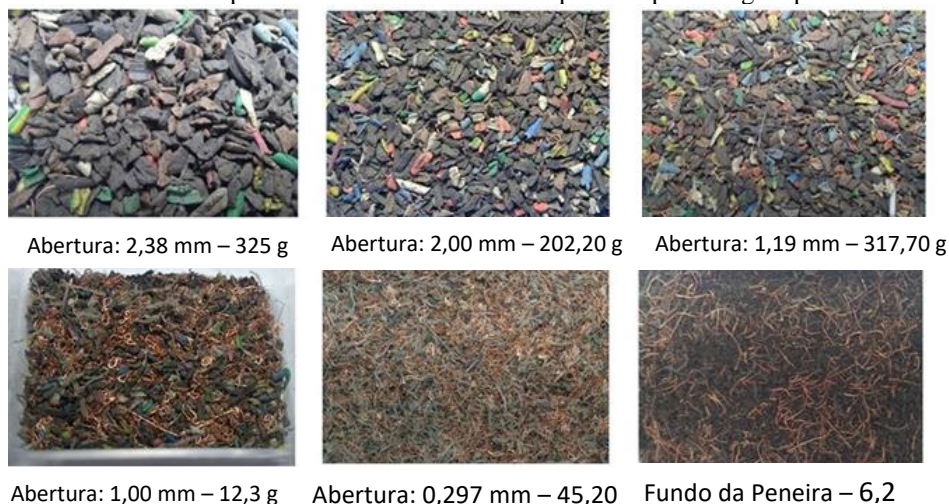
Tabela 7: Análise granulométrica dos resíduos de cabo paralelo.

ABNT	Peneiras	Massa Retida (g)	Massa que Passa (g)	Massa Retida (%)	Massa que Passa (%)
	Abertura (mm)				
8	2,38	11,60	208,50	5,27	94,73
10	2,00	142,30	66,20	64,65	30,08
16	1,19	3,20	63,00	1,45	28,62
18	1,00	37,50	25,50	17,04	11,59
50	0,297	22,00	3,50	10,00	1,59

Na análise granulométrica dos resíduos de cabo paralelo, aproximadamente 64% dos resíduos estão com tamanho de partículas superiores a 2 mm e apenas 10% com tamanhos entre 1 mm e 0,297 mm classificado.

As figuras 3 e 4 ilustram e enumeram as imagens dos resíduos obtidos em cada peneiramento, assim como o peso retido em cada abertura da peneira.

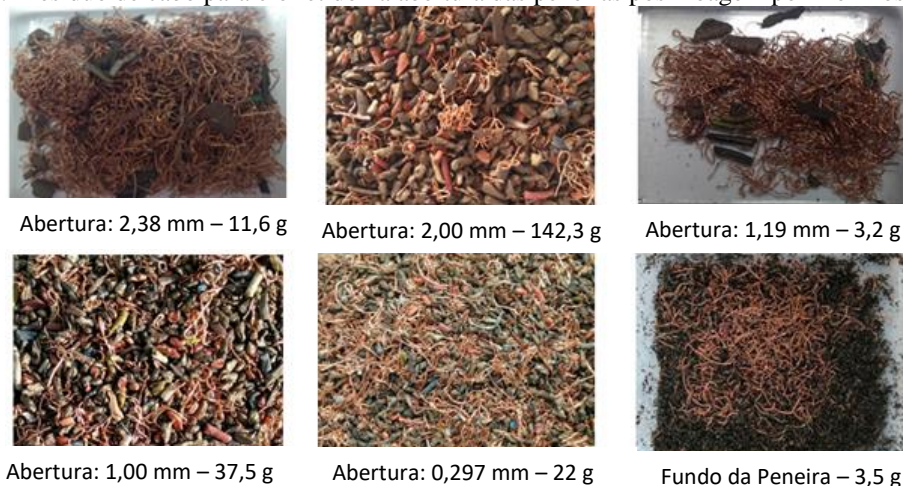
Figura 3: Resíduo retido nas peneiras da mistura cabo PP + paralelo pós moagem por moinhos de bolas.



Através da análise visual pode-se ver na figura 4 que o resíduo retido na peneira de abertura 2,38 mm está quase isento de cobre, na peneira de 1 mm metade dos resíduos são

constituídos de plástico, já na peneira de abertura 0,297 mm há uma mistura de fibra de polipropileno, partículas de PVC e cobre, mas grande parte do material é cobre. No fundo da peneira há 6,2 gramas de mistura de cobre mais pó plástico, esse pó é resultado do atrito entre as esferas de alumina e as paredes do jarro na moagem por bolas.

Figura 4: Resíduo de cabo paralelo retido na abertura das peneiras pós moagem por moinhos de bolas.



A tabela 8 apresenta a análise granulométrica dos resíduos de cabo PP após o repeneiramento.

Tabela 8: Análise granulométrica dos resíduos de cabo PP.

Peneiras		Massa Retida (g)	Massa que Passa (g)	Massa Retida (%)	Massa que Passa (%)
ABNT	Abertura (mm)				
8	2,38	0,00	157	0,00	100
10	2,00	0,00	157	0,00	100
16	1,19	74,5	82,5	47,45	52,55
18	1,00	16,4	66,1	10,45	42,10
50	0,297	53,5	12,6	34,08	8,03

Analisando os dados da tabela 8, quase 34% do material analisado está entre 1 mm e 0,297 mm, o que significa que no peneiramento anterior o material que ficou retido na peneira de 0,850 mm não foi totalmente classificado, isto pode ser devido ao número de partículas de diferentes tamanhos que bloquearam a passagem da peneira, impedindo a passagem das partículas de tamanho menor.

A figura 5 apresenta o peneiramento da amostra dos resíduos do cabo PP, verifica-se a presença de cobre em todas as misturas, com mais relevância na peneira de abertura 0,297 mm, a qual há uma mistura de fibras de polipropileno, partículas de PVC e cobre. Já no fundo da peneira 12,6 gramas de cobre foram recuperados com 99 % de pureza.

Figura 5: Resíduo de cabo PP retido nas aberturas da peneira após repreneiramento.



Abertura: 1,19 mm – 74,5 g



Abertura: 1,0 mm – 16,4 g



Abertura: 0,297 mm – 53,5 g



Fundo da Peneira – 12,6 g

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após estudos bibliográficos e análises realizadas nos resíduos de cabos elétricos e eletroeletrônicos, os principais resultados obtidos neste trabalho são:

- O percentual de cobre contido em um fio de um cabo de força para computador tipo dupla capa de PVC corresponde a 28,2% do fio. Já para fios de um cabo paralelo, o percentual de cobre estipulado no fio corresponde a 47,5%.
- Uma separação com recuperação de 226,29 g de cobre, correspondente a aproximadamente 23% dos resíduos de cabos paralelos com densidade de $7,95 \text{ g/cm}^3$, o que resulta em 89% de pureza na separação no primeiro peneiramento.
- Uma recuperação de 126,26 g de cobre, correspondente a aproximadamente 13% dos resíduos de cabos PP com densidade de $5,94 \text{ g/cm}^3$, o que resulta em 66% de pureza no primeiro peneiramento.
- Uma retenção de massa de aproximadamente 59 % de resíduos de cabos PP e 39% de resíduos de cabos paralelos na peneira de 1,70 mm com densidades de $1,52 \text{ g/cm}^3$ e $1,61 \text{ g/cm}^3$, consecutivamente.
- Com o repreneiramento de resíduos de fios de cabos PP, obteve-se uma recuperação de cobre de 65,86% ao final do processo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COBRE (ABCOBRE). Reciclagem consciente. São Paulo, nov. 2016. Disponível em: <http://www.cecil.com.br/cartilha_reciclagem_consciente.pdf> Acesso em: 16 nov. 2018.

ARAÚJO, Mishene Christie Pinheiro Bezerra de et al. Reciclagem de fios e cabos elétricos – cabo paralelo. *Metalurgia & Materiais*. [S.I.], v. 61, p. 391-396. Disponível em: <https://bdpi.usp.br/bitstream/handle/BDPI/4443/art_ARAUJO_Reciclagem_de_fios_e_cabos_eletricos_-_2008.pdf?sequence=1>. Acesso em: 18 maio 2019.

BARRÍA, Cecilia. Como o preço do cobre disparou - e o que a China e os carros elétricos têm a ver com isso. [S.I.], 04 jan. 2018. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-42560695>>. Acesso em 14 nov. 2018

CHRISTÉEN, Jonas. Swedish cable waste for recovery in China or Sweden. A study of the economic and environmental impact. *Environmental technology and Management*. Suécia. Disponível em: <http://extra.ivf.se/Cable_Program/download/Report_Jonas.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2018.

DÍAZ, Sara et al. Recycling of polymeric fraction of cable waste by rotational moulding. *Waste Management*. [S.I.], v. 76, p. 199-206. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X18301624>>. Acesso em: 15 set. 2018.

MATOZINHOS, Roberto. Fios e cabos elétricos para edificações. Minas Gerais, 2012. Disponível em: <<https://sindusconpr.com.br/principal/pub/Image/20130206090223Qualimat-Cabos-e-Fios-2012-Internet-Reduzido.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2018.

MOKSIN, Vadim; STRISKA, Vytautas; TESTSMAN, Ina. Method of removal of the plastic insulator from waste cables by passing them between two rotating rolls that have different surface temperatures. The 8th International Conference. *Environment Engineering*. Lituânia, [S.I.], p. 228-232, maio 2011. Disponível em: <http://dspace.vgtu.lt/bitstream/1/888/1/228_232_Moksin_others.pdf>. Acesso em: 15 set. 2018.

TANIMOTO, Armando H. et al. Material flow accounting of the copper cycle in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, [S.I.], v.55, p. 20-28. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344910000716>>. Acesso em: 15 set. 2018.

VILLELA, Marcelo. Excesso e escassez levam metais à maior divergência em 2 anos. [S.I.], 17 ago. 2016. Disponível em: <<http://noticiasmineracao.mining.com/2016/08/17/excesso-e-escassez-levam-metais-a-maior-divergencia-em-2-anos/>>. Acesso em 14 nov. 2018.