



CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS PRESENTES EM TONER PÓS CONSUMO DE DIFERENTES MARCAS AVALIANDO O POTENCIAL ECONÔMICO PARA RECICLAGEM

Jeferson Webber – webber.eng@gmail.com

UFRGS - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M)

Av. Bento Gonçalves, 9500 91509-900 - Porto Alegre – RS

Melissa Pereira – melissapereira.rs@gmail.com

UFRGS - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M)

Hugo Marcelo Veit – hugo.veit@ufrgs.br

UFRGS - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M)

Resumo: *Os avanços tecnológicos trazem conforto e comodidade. É legítimo afirmar que o sistema globalizado e acelerado necessita de processos rápidos e eficazes. No entanto estes avanços acarretam em um ciclo desequilibrado de produção, consumo e descarte. Os equipamentos eletroeletrônicos estão entre os principais causadores deste desequilíbrio, gerando grandes quantidades de resíduos. Para minimizar isto, processos de identificação e reciclagem destes materiais se fazem necessário, atenuando o impacto ambiental gerado pelo descarte inadequado. Este estudo apresenta uma análise de separação e identificação de algumas amostras de toner de impressora, seus constituintes e suas concentrações, visando o potencial econômico de reciclagem. Para isto, foram analisadas dezenove amostras de quatro marcas de toner. Estas amostras foram desmontadas manualmente, seus materiais poliméricos desconhecidos foram identificados por espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e as ligas metálicas por fluorescência de raios X de dispersão de energia (EDFRX). Considerando a massa e os percentuais de concentração dos materiais identificados, fez-se uma análise do preço de venda, por quilograma, baseada em estimativas de mercado. Os materiais de maior interesse econômico e conseqüentemente de reciclagem presente nos toners foram os polímeros, que representam aproximadamente 40% da massa total das amostras. As ligas metálicas, apesar de constituírem percentual maior em massa (48%) possuem um valor comercial menor. Com base neste estudo, pode-se afirmar que capacidade de reaproveitamento do toners é de 85%.*

Palavras-chave: toner, reciclagem, polímeros, ligas metálicas, potencial econômico.



CHARACTERIZATION OF MATERIALS PRESENT IN TONER POST CONSUMPTION OF DIFFERENT BRANDS, EVALUATING THE ECONOMIC POTENTIAL FOR RECYCLING

Abstract: *Technological advances bring comfort and convenience. It is legitimate to say that the globalized and accelerated system needs rapid and effective processes. However these advances lead to an unbalanced cycle of production, consumption and disposal. The electrical and electronic equipment are among the main causes of this imbalance, generating large amounts of waste. To minimize this, processes of identification and recycling of these materials are necessary, mitigating the environmental impact generated by the inappropriate disposal. This study presents a separation analysis and identification of some printer toner samples, their constituents and their concentrations, aiming at the economic potential of recycling. For this, nineteen samples of four toner brands were analyzed. These samples were manually dismantled, their unknown polymeric materials were identified by Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy and the X-ray fluorescence alloys (EDFRX). Considering the mass and the concentration percentages of the identified materials, an analysis of the sale price, per kilo, was made based on market estimates. The most economical and consequently recyclable materials present in the toners were the polymers, which account for approximately 40% of the total mass of the samples. Metal alloys, although they constitute a larger percentage by mass (48%), have a lower commercial value. Based on this study, it can be stated that toner reuse capacity is 85%.*

Keywords: *Toner, recycling, polymers, metal alloys, economic potential.*

1. INTRODUÇÃO

Novas tecnologias são apresentadas ao mundo diariamente. Um modelo de desenvolvimento econômico baseado no consumo acelerado de bens e produtos. Isto de certa forma trás comodidade, segurança, atenua distancias e acelera o desenvolvimento econômico. No entanto, de acordo com Barbosa, Coura e Mendes (2008) este modelo de processo econômico gera grandes quantidades de resíduos, um ciclo temporal desequilibrado entre a extração, o consumo e o descarte que gera uma degradação ambiental irreversível. . Este desequilíbrio é bastante acentuado no setor de equipamentos eletroeletrônicos.

Segundo a Organização das Nações Unidas (2015) o Brasil produziu 1,4 milhões de toneladas de resíduos eletroeletrônicos em 2014, no mundo, esta produção atingiu a marca de 42 milhões de toneladas e a estimativa para este ano é que esta produção atinja a marca de 50 milhões.

Uma das frentes que atenua os impactos ambientais e possibilita manejo adequado, gerando trabalho e renda, é a reciclagem. O Brasil é provido de legislação própria para tratar de assuntos pertinentes ao manejo desses resíduos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305 (2010) e regulamentada pelo Decreto nº 7.404, sugere práticas sustentáveis de consumo e instrumentos variados para propiciar o incentivo à reciclagem e à reutilização dos resíduos sólidos, bem como a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos. Dispõe ainda sobre princípios, objetivos e instrumentos, bem como diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos (incluídos os perigosos), às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

Entretanto, a dificuldade da reciclagem desses produtos esta ligada a variedade de material que os compõem, como por exemplo, placas de circuito impresso, celulares, impressoras e cartuchos toner.

O toner, em especial, é um gerador de grande quantidade de resíduos em decorrência da alta rotatividade do produto. Enquanto um computador tem vida útil de dez anos, um toner em uso tem vida útil de alguns meses. Estudos recentes apontam um grau de risco a saúde em decorrência da

Realização:



exposição continua ao pó de toner, associado a ambientes confinados mal projetados e de ventilação mecânica limitada; apesar de ainda não haver resultados conclusivos. (KONCZOL, 2012; MARTIN et al, 2015).

A. Ahmadi et. al (2003) classifica toner como a tinta seca que cria a imagem no papel durante o processo xerográfico usado na maioria dos copiadores e impressoras de grande porte. Consiste em pequenas partículas na faixa de tamanho de 8-13 micrometros, e é composta por três matérias-primas básicas - polímero, corante (pigmentos), e pequenas quantidades de aditivos que ajudam a controlar a qualidade da imagem. Em conjunto, está a estrutura do cartucho que é predominantemente formada por polímeros e ligas metálicas.

De acordo com Jujun Ruan, Jia Li, Zhenming Xu (2011) a incineração ou destinação a aterros controlados não é disposição final adequada para o conjunto dos componentes do toner. As razões citadas pelo autor são: os polímeros constituintes têm uma taxa de decomposição muito lenta em ambiente natural; a queima desses polímeros geraria poluentes orgânicos persistentes (dioxina e furano) lançadas ao ambiente; o pó se não confinado poderia lixiviar e contaminar o solo e águas.

Portanto, a identificação, determinação dos percentuais de concentração e a classificação dos materiais constituintes são fundamentais para uma análise de gestão de reciclagem adequada desse resíduo.

Neste contexto este estudo visa à caracterização, quantificação e classificação dos componentes de quatro marcas mais consumidas de toner de impressoras, analisando também o potencial de reciclagem dos seus constituintes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Toner de impressora

Para este estudo foram coletados a partir de doações de toner de quatro marcas diferentes, como demonstra a Tabela 1. Todos eles apresentam características particulares específicas das marcas, como peso, volume e componentes.

Tabela 1- Marcas e quantidades analisadas.

Marca	Quantidade (un)
Samsung	4
Ricoh	5
HP	5
Lexmark	5

2.2. Caracterização

Para analisar os constituintes dos toner foi realizado, inicialmente, o desmontelamento manual, conforme ilustra a Figura 1, a fim de reduzir as perdas no processo, viabilizando a análise quantitativa dos componentes. As amostras foram separadas por marca e, em seguida, dispostas em três classes principais: polímeros, ligas metálicas e pó de toner. Após este processo, as classes principais de cada marca foram pesadas.

Figura 1- Desmontelamento manual.



Realização:



Polímeros

Muitos produtos de material poliméricos apresentam código de identificação (normalmente um número de 1 a 7 dentro de um triângulo de três setas e sob o mesmo uma abreviatura) indicando o tipo da composição do produto, isso auxilia na separação e colabora com uma posterior reciclagem e revalorização (QUEIROZ et al, 2008). As marcas HP, Samsung e Ricoh analisadas neste estudo apresentam na estrutura constituinte (carcaça polimérica) a classificação do polímero gravada em alto relevo conforme a NBR13230(2008). Para estas marcas/modelos foi utilizada esta identificação vinda de fábrica. Apenas a marca Lexmark não possuía a identificação, sendo necessária a realização de ensaio de para identificação do polímero. A análise destas carcaças poliméricas foi realizada por espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) no equipamento marca Bruker Alpha com acessório ATR/diamante.

Ligas metálicas

Os constituintes metálicos foram analisados por fluorescência de raios X de dispersão de energia (EDFRX) através do equipamento Thermo Scientific NITON model XL3t GOLDD+ portable EDXRF analyzer.

Pó de toner

As análises do pó foram realizadas através de Microscópio Eletrônico de Varredura com Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X (MEV/EDS). O equipamento utilizado foi o Microscópio Phenom Pro X, detector BDS Full, modo 5kV.

Segundo Martin et. al (2015), os componentes mais comuns relatados no pó de toner são resinas, cera, óxido de ferro (III), negro de fumo e pigmentos. Há presença de metais de transição em concentrações significativas. Isto inclui óxidos de Mn, Ni, Cr e Ti. Nos estudos realizados pelo autor, o pó de toner apresentou os mais variados tipos de substâncias, incluindo Si amorfo, dióxido de titânio, óxido de ferro (III) e outros, bem como quantidades consideráveis de Mn, Fe, Cu.

A composição básica para o pó de toner, independente de marca e modelo apresenta, em massa, cerca de 50% de resina de poliéster, 50% de óxido de ferro e 2% de silício amorfo. (SANTOS et al, 2016).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Desmontagem e pesagem

A Tabela 2 demonstra o resultado individual dos componentes, em gramas, para cada amostra de toner analisada da marca Samsung, assim como o desvio padrão. As Tabelas 3, 4 e 5 seguem a mesma metodologia para as marcas Ricoh, HP e Lexmark, consecutivamente.

Tabela 2 - Quantidade de materiais componentes das amostras da marca Samsung.

Samsung			
Amostra	Polímero (g)	Ligas metálicas (g)	Pó (g)
S1	442,16	523,25	238,86
S2	548,77	465,91	233,89
S3	442,85	471,37	38,23
S4	446,36	572,55	115,75
S5	449,41	495,22	162,65
Total	2329,55	2528,3	789,38
Média	465,91	505,66	157,88
Desvio padrão	46,41	43,73	84,33

Realização:



Tabela 3 - Quantidade de materiais componentes das amostras da marca Ricoh.

Ricoch			
Amostra	Polímero (g)	Ligas metálicas (g)	Pó (g)
R1	404,17	471,7	71,64
R2	316,74	432,85	35,02
R3	369,74	461,51	75,9
R4	315,99	444,02	129,44
R5	411,51	423,57	81,53
Total	1818,15	2233,65	393,53
Média	363,63	446,73	78,71
Desvio padrão	45,94	19,86	33,72

Tabela 4 - Quantidade de materiais componentes das amostras da marca HP.

HP			
Amostra	Polímero (g)	Ligas metálicas (g)	Pó (g)
H1	180,56	353,66	23,72
H2	172,86	358,71	31,24
H3	221,42	314,77	10,81
H4	173,97	333,40	17,62
Total	748,81	1360,54	92,40
Média	187,25	113,38	11,55
Desvio padrão	23,06	139,52	8,16

Tabela 5 - Quantidade de materiais componentes das amostras da marca Lexmark.

Lexmark			
Amostra	Polímero (g)	Ligas metálicas (g)	Pó (g)
L1	230,08	270,62	125,67
L2	241,11	265,06	126,56
L3	243,32	261,41	5,27
L4	245,55	267,63	94,56
L5	239,92	268,13	124,39
Total	1199,98	1332,85	476,45
Média	240	266,57	95,29
Desvio padrão	5,95	3,49	52,09

O processo de desmontelamento manual diminui as perdas, além de propiciar uma separação limpa e bem classificada dos componentes inclusive para o pó de toner. Um processo mecânico provavelmente ocasionaria maior perda do pó em decorrência da granulometria dos grãos.

3.2 Determinação dos materiais constituintes

Posterior à separação inicial dos materiais foram realizados ensaios de identificação dos elementos das ligas metálicas e do polímero, apenas para a marca Lexmark, conforme análises referenciadas no item 2.2.

A Figura 2 apresenta os materiais identificados e classificados da marca Ricoh. Da mesma forma, o processo foi repetido para as demais amostras das outras marcas.

Realização:



Figura 2 - Identificação dos materiais.



Após esta identificação foi possível determinar a massa, em gramas, para cada elemento ou liga assim como as perdas totais no processo. A Tabela 6 demonstra a massa total obtida para cada material por marca.

Tabela 6 - Quantidade de material, em gramas, para cada marca de toner.

Material (g)	Samsung	Ricoh	HP	Lexmark
ABS	1963,97	829,35	-	-
PC	210,77	913,08	-	-
PS	-	-	508,75	1114,37
Outros polímeros	48,24	60,97	224,88	83,17
Aço niquelado	552,42	1508,34	619,26	1129,34
Aço galvanizado	321,11	445,44	386,42	117,02
Aço inoxidável	1351,83	13,91	9,11	38,29
Bronze	10,78	1,66	-	8,43
Alumínio	233,04	228,26	190,69	-
Outras ligas	36,00	33,03	31,17	15,10
Pó de toner	788,67	392,55	65,47	473,46
Perdas totais	130,40	18,74	166,00	30,10

É possível observar a diversidade de materiais que compõem os cartuchos de toner, independente da marca. Na sua grande maioria, polímeros e ligas metálicas, que possuem um alto potencial de reciclagem.

Para polímeros, os materiais com maior massa encontrados foram acrilonitrila butadieno estireno (ABS), policarbonato (PC) e poliestireno (PS). As ligas metálicas de maiores massas no toner são o aço inoxidável, aço niquelado, aço galvanizado e bronze. Também foi identificada uma quantidade significativa de alumínio.

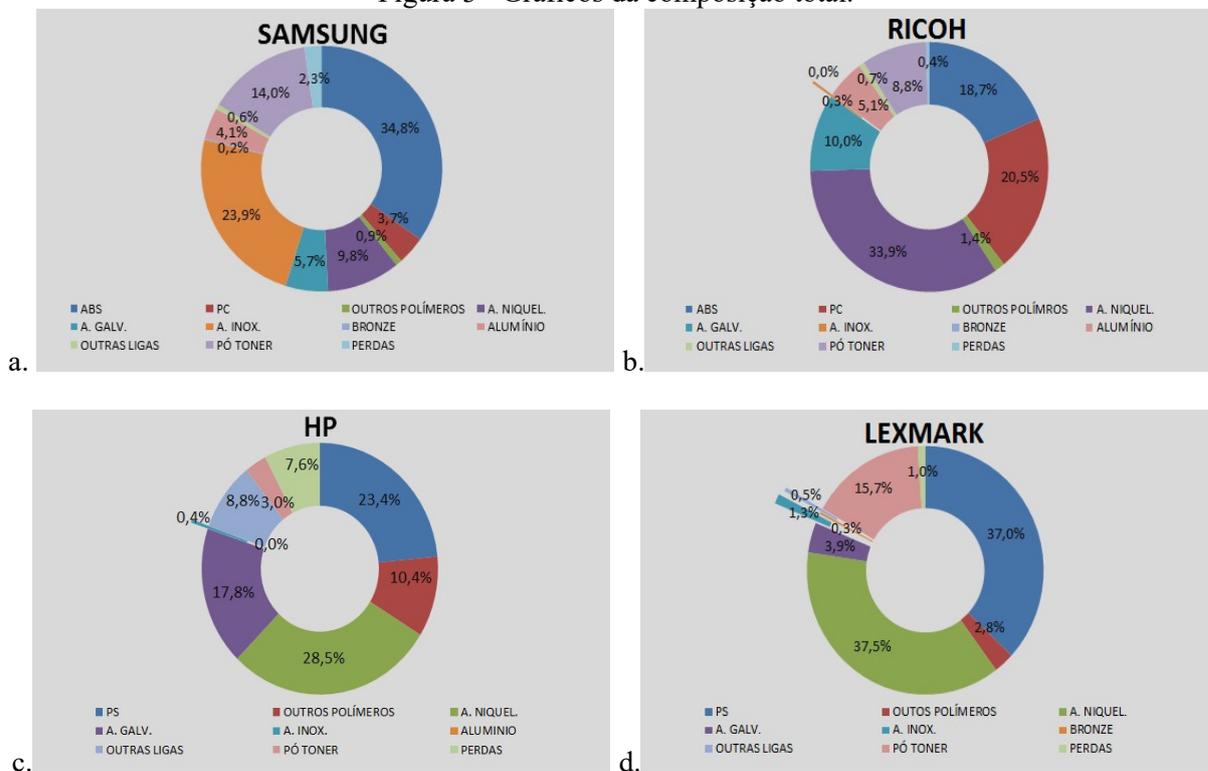
Os resultados dos ensaios realizados no pó de toner (MEV/EDS) reafirmam o encontrado na literatura.

Aproximadamente 85% dos constituintes são resinas poliméricas, basicamente Carbono e Oxigênio. Alguns elementos metálicos mostram-se presente em todas as amostras, caso do Carbono, Oxigênio, Silício e Titânio. Outros aparecem pontualmente em alguns casos específicos, mas em quantidades pouco significativas, como ocorre com o Ferro e Manganês.

Representatividade dos materiais

A representatividade dos materiais, em percentual, foi ilustrada na forma gráfica, conforme mostra Figura 3 (a) Samsung, (b) Ricoh, (c) HP, (d) Lexmark.

Figura 3 - Gráficos da composição total.



Na figura 3 constata-se a concentração maior de ligas metálicas e polímeros na constituição do toner, independente da marca. A variação do pó esta ligada ao uso do equipamento. Muitos ainda apresentaram quantidade considerável de pó, o que permitiria o uso desse componente por um maior período de tempo antes do descarte.

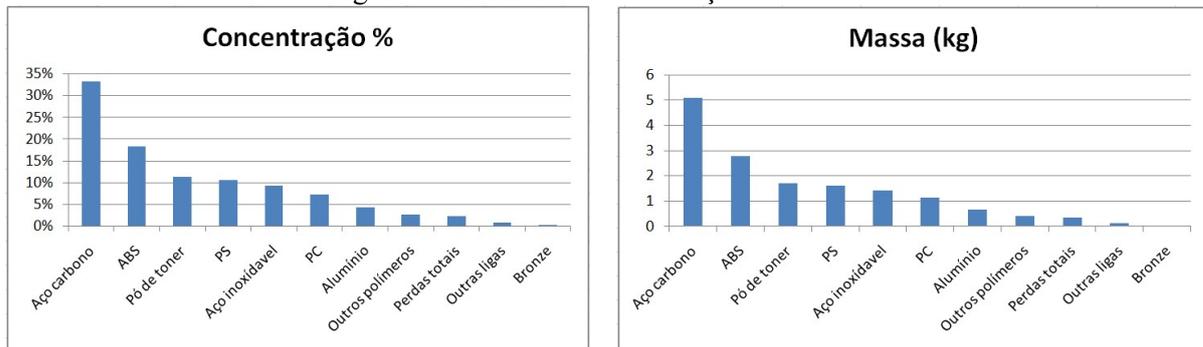
3.3 Análise do potencial de reciclagem

Com os resultados de classificação e identificação dos materiais foi possível elaborar gráficos que ilustram as concentrações e as respectivas massas dos polímeros e ligas com maior potencial de reciclagem. Nesta etapa o aço galvanizado e o aço níquelado foram considerados como aço carbono. Isso porque as quantidades destes elementos na liga não representam um volume significativo que justifique tratamento de extração. O aço inoxidável tem valor comercial maior e por este motivo permaneceu separado no levantamento. A Figura 4 ilustra estas informações, considerando que:

- para este estudo foram utilizadas dezenove unidades de toner de diferentes marcas;
- dos 15,304kg de amostras analisadas constatou-se que 12,706kg representam materiais potencialmente recicláveis, já excluídos o pó e perdas do processo.



Figura 4 – Gráfico de concentração e massa dos elementos.



A partir destas quantidades foi possível elaborar uma estimativa para a venda dos materiais com base em valores médios praticados no mercado nacional. A Tabela 7 demonstra os valores de venda dos materiais.

Tabela 7 – Valores de mercado, em Reais.

Material	Massa (kg)	Valor por kg (R\$)	Valor Total (R\$)
Aço carbono	5,079	0,27	1,37
ABS	2,793	0,91	2,54
Pó de toner	1,720	-	-
PS	1,623	0,88	1,43
Aço inoxidável	1,413	2,30	3,25
PC	1,124	0,96	1,08
Aço carbono	5,079	0,27	1,37
ABS	2,793	0,91	2,54
Pó de toner	1,720	-	-
PS	1,623	0,88	1,43
Aço inoxidável	1,413	2,30	3,25
PC	1,124	0,96	1,08
Alumínio	0,652	3,00	1,96
Outros polímeros	0,417	-	-
Perdas totais	0,345	-	-
Outras ligas	0,115	-	-
Bronze	0,021	9,00	0,19
Total (R\$)			11,81

Fonte: Litoral limpo; Sucatas (2017).

Os valores apresentados na Tabela 7 reafirmam o potencial econômico de reciclagem do toner. Nesta análise foram utilizados 12,706kg e obteve-se um valor proposto de venda de R\$ 11,81. Se considerar uma tonelada de toner pós-consumo esta sigla representaria um montante de R\$ 1295,31. Portanto, para cada quilograma de toner reciclado o valor obtido seria de R\$ 1,30. Importante salientar que, para este estudo, foram cotados somente os valores dos materiais, não levando em consideração custos de mão de obra e equipamentos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através das análises realizadas nos componentes de impressão do tipo toner, foi possível determinar sua real composição. A desmontagem manual permitiu uma separação precisa e limpa, sem

Realização:



contaminações. Ainda que seja um processo demorado e comercialmente inviável, o desmantelamento minimizou as perdas, tornando fidedignos os resultados obtidos.

A caracterização e identificação dos elementos constituintes se fizeram necessário para garantir que cada informação sobre o potencial de reciclagem fosse precisa. Os ensaios de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) nos polímeros e de fluorescência de raios X de dispersão de energia (EDFRX) nos constituintes metálicos possibilitaram afirmar que há uma grande variedade de polímeros e ligas metálicas respectivamente presentes, independente de marca. Todos estes com grande potencial de reciclabilidade.

Neste contexto, a soma de todos os resultados e levantamentos possibilitou uma estimativa de reciclagem, com base nas ligas e polímeros presentes. Sabendo da alta rotatividade destes produtos e do valor de mercado atual para a venda de seus componentes pode-se garantir que 85% dos constituintes são passíveis de reciclagem. Isto incide, também, na diminuição do descarte de materiais potencialmente recicláveis em aterros, lixões ou outros locais impróprios, atenuando o risco de contaminação de solos e afluentes, contribuindo para um aumento do ciclo de vida dos materiais.

REFERÊNCIAS

A. AHMADI, B.H. WILLIAMSON, T.L. THEIS, S.E. POWERS. Life-cycle inventory of toner produced for xerographic processes. **Journal of Cleaner Production** 11 ,p 573–582, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS – ABNT. Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e simbologia. Rio de Janeiro, 8p, 2008.

BARBOSA, M. T. G.; COURA C. G.; MENDES, L. O. **The artificial sand x natural sand for concrete production.** **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 51-60, out./dez. 2008. BRASIL. Lei nº 12.305. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010.

JOHN, M. DHIMITER, B., KRISTIN, B. MARTIN, S. DAVID, C. SUSAN W. PHILIP, D. Occupational exposure to nano particles at commercial photocopy centers. **Journal of Hazardous Materials** 298, p 351–360, 2015.

JUJUN RUAN, JIA LI, ZHENMING XU. An environmental friendly recovery production line of waste toner cartridges . **Journal of Hazardous Materials** 185, p. 696–702, 2011.

KONCZOL, M. Oxidative stress and inflammatory response to printer toner articles in human epithelial A549 lung cells. *Toxicology Letters*. Freiburg, Germany. 2012

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Gestão sustentável de resíduos de equipamento elétrico e eletrônico na América Latina.** Disponível em: http://www.who.int/ceh/publications/ewaste_latinamerica/en/. Acesso em : 24 de Agosto de 2017.

[QUEIROZ, GUILHERME DE C.](#); [GASPARINO, BRUNO F.](#); [COLTRO, LEDA.](#) Reciclagem de materiais plásticos: a importância da identificação correta. **Polímeros ciência e tecnologia**, vol.18, n.2, p.119-125, 2008.

SANTOS, S.D. et al. **Caracterização da mistura de pó de toner.** In: 60º Congresso Brasileiro de Cerâmica. 16., Instituto Federal de Educação , Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - IFRN. Natal. 2016.

TABELA DE PREÇOS DE MATERIAL RECICLADO. Disponível em: <https://www.litorallimpo.com.br/precos/>. Acessado em: 31 de Agosto de 2017.

TABELA NACIONAL DE PREÇOS. Disponível em: <http://sucatas.com/portal/pages/internas/Tabela-Nacional-de-Precos-0>. Acessado em: 31 de Agosto de 2017.

Realização: