

### **III- 1536- CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE PLACAS DE MADEIRA PLÁSTICA RECICLADAS ARTESANALMENTE DO TIPO POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD) POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX)**

**Gabriel Xavier da Silva** <sup>(1)</sup>

Graduando em Engenharia Civil no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) - Campus Natal Central.

**Alysson Roberth Silva dos Santos** <sup>(2)</sup>

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) - Campus Natal Central.

**Thalia Maria de Sousa Soares** <sup>(3)</sup>

Mestranda no Programa de Pós-graduação em Uso Sustentável em Recursos Naturais (PPgUSRN) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) - Campus Natal Central.

**Cleonilson Mafra Barbosa** <sup>(4)</sup>

Licenciado em Química na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Especialista em Docência no Ensino Superior na Universidade Potiguar (UnP). Mestre e Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais na UFRN.

**Sheyla Varela Lucena** <sup>(5)</sup>

Licenciada em Ciências Biológicas (UFRN). Mestre em Bioquímica (UFRN). Doutora em Biologia Molecular (UNIFESP).

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Avenida Senador Salgado Filho, 1559 - Tirol - Natal - RN – CEP: 59015-000 - Brasil - Tel: +55 (84) 99655-5559 - e-mail: [gabriel.xavier@academico.ifrn.edu.br](mailto:gabriel.xavier@academico.ifrn.edu.br)

#### **RESUMO**

O presente trabalho aborda sobre a problemática ambiental gerada pela produção mundial de itens plásticos e a importância da reciclagem como um processo relevante na mitigação dos impactos ambientais. O objetivo do estudo é caracterizar a composição química de placas de madeira plástica do tipo Polietileno de Alta Densidade (PEAD) recicladas artesanalmente, por meio do método de Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X (FRX), buscando determinar qualitativamente e quantitativamente os elementos metálicos presentes em diferentes amostras deste material. Os resultados do estudo permitirão conhecer melhor o produto final da reciclagem destinado ao usuário, suas características e aplicabilidades. O estudo destaca a importância da reciclagem e da pesquisa científica na busca por novas aplicações e soluções sustentáveis para a gestão de resíduos plásticos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Polímeros; Reciclagem Artesanal; Fluorescência de Raios-X.

#### **INTRODUÇÃO**

A produção mundial de produtos plásticos tem gerado grandes problemas ambientais para a humanidade. Desde a década de 1950, quando este material se popularizou, a fabricação de objetos poliméricos aumentou substancialmente (PLASTICS EUROPE, 2011). Apesar de ter apresentado um decréscimo nos anos de 2019 e 2020, devido à crise da Covid-19, a produção mundial de produtos plásticos voltou a bater recordes no ano de 2021, alcançando a marca de 390.7 milhões de toneladas no referido ano (PLASTICS EUROPE, 2022).

Devido a todos os benefícios que apresentam, como resistência, versatilidade, alta durabilidade, leveza, transparência, maleabilidade, impermeabilidade e, primordialmente, o seu baixo custo, os plásticos estão presentes de forma indissociável no cotidiano da sociedade atual (MANO *et al.*, 1999, RIOS *et al.*, 2007).

Assim, as embalagens plásticas como garrafas de bebidas, recipientes alimentícios e demais tipos como sacos, copos, frascos de produtos de higiene, cosméticos e limpeza possuem um período de consumo curto, sendo descartados pelo consumidor em pouco tempo e se transformando em resíduos poluentes que necessitam de atenção e valorização (MANO *et al.*, 2005).

Desse modo, a reciclagem é um processo importante na mitigação dos impactos ambientais que o consumo exagerado e a disposição ambientalmente incorreta dos resíduos plásticos geram à humanidade (SANTOS; AGNELLI; MANRICH, 2004). Através dela, podem ser produzidos itens de maior valor agregado como *decks*, pisos, móveis, painéis decorativos, brinquedos, madeira plástica e inúmeros outros objetos que o polímero reciclado e o método utilizado permitam fazer.

Dessarte, faz-se necessário estudos científicos a respeito da caracterização desses materiais antes e depois do processo de reciclagem a fim de conhecê-los melhor para buscar novas aplicações para os produtos destinados ao consumidor final, gerados após a reciclagem.

## OBJETIVO

Caracterizar a composição química de placas de madeira plástica do tipo Polietileno de Alta Densidade (PEAD) recicladas artesanalmente, por meio do método de Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X (FRX), visando determinar qualitativamente e quantitativamente os elementos metálicos presentes em diferentes amostras deste material com a finalidade de conhecer melhor o produto final da reciclagem destinado ao usuário, suas características e aplicabilidades.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo é caracterizado por uma análise laboratorial de placas de madeira plástica do tipo Polietileno de Alta Densidade (PEAD) recicladas artesanalmente pelo Projeto ReciclAMAR, do IFRN *Campus* Natal Central, por meio do método de Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X (FRX), utilizando um Espectrômetro, de Bancada, de Energia Dispersiva (EDXRF), da marca *Thermo Fischer Scientific*, do modelo ARL QUANT'X, utilizando método à ar. A análise foi realizada obedecendo as seguintes etapas:

1. Produção da placa de madeira plástica: esta fase teve por objetivo a produção da madeira plástica analisada e seguiram os respectivos passos:
  - a) Foram selecionadas tampinhas de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), de produtos variados, de sete cores diferentes: translúcido, branco, vermelho, preto, verde, laranja e azul. As tampas foram recolhidas de garrafas do tipo Polietileno Tereftalato (PET) recém utilizadas, de diferentes finalidades, formas, marcas e modelos, que teriam o lixo comum como destino final, sem sujeiras de difícil remoção e sem danos consideráveis à forma da tampa.
  - b) Após a seleção, as tampinhas foram lavadas juntas, ainda inteiras, utilizando água corrente com auxílio de escova com cerdas de náilon para remoção mecânica da sujeira. Após esta lavagem, foi realizado um banho de 24h utilizando detergente laboratorial neutro Extran MA 02, da fabricante MERCK, diluído em água, em concentração de 20ml/L, segundo manual de uso do produto para lavagem "normal". Em seguida, foi feito o enxágue em água corrente e a secagem natural em laboratório limpo e fechado, à temperatura ambiente.
  - c) Após lavadas, as tampinhas foram colocadas separadamente, por cores, em máquina trituradora (*Shredder*), fabricada pela *Precious Plastic* Cotia, até se transformarem em flocos (*flakes*).
  - d) Em sequência, os materiais granulados resultantes (flocos/*flakes*), ainda separados por cores, foram lavados novamente visando a descontaminação das amostras por possíveis partículas metálicas e de outros materiais liberadas no processo de trituração, durante o contato dos polímeros com as ferramentas utilizadas na etapa anterior. O método utilizado para esta segunda lavagem foi, também, o de banho de 24h utilizando detergente laboratorial neutro Extran MA 02, da fabricante MERCK, diluído em água, em concentração de 20ml/L, segundo

manual de uso do produto para lavagem “normal”. Em seguida, assim como na primeira lavagem, foi feito o enxágue em água corrente e a secagem natural em laboratório limpo e fechado, à temperatura ambiente.

- e) Após secagem, os *flakes* foram dispostos em fôrma de alumínio untada por silicone, organizados lado-a-lado por cores e levados a um forno elétrico à 250°C, por 60 minutos, formando uma placa uniforme de plástico derretido, medindo 30x40cm, com 8 milímetros de espessura, seguindo a forma retangular da fôrma utilizada.
2. Preparação e análise das amostras: esta segunda fase objetivou a preparação e análise das amostras a partir da placa de madeira plástica produzida nos passos anteriores. Esta etapa desencadeou-se da seguinte forma:
- a) A placa produzida foi cortada em 7 partes diferentes, utilizando uma serra-mármore com disco de corte diamantado da marca Makita, de acordo com as cores dispostas na fôrma, resultando em uma pequena sub-placa de cada cor: translúcido, branco, vermelho, preto, verde, laranja e azul.
  - b) Em sequência, foi feita uma raspagem em cada sub-placa utilizando os dentes de um serrote de arco da marca Starret, objetivando a cominuição do material à menor granulometria possível para uma execução satisfatória e mais acurada possível da análise. A granulometria final foi aferida em peneira granulométrica de malha nº 16, com abertura de 1,18mm.
  - c) Após a cominuição, foi feita a separação das amostras por cores, totalizando 7 (sete) amostras, que foram submetidas à análise de Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X (FRX) no laboratório do Centro de Referência em Tecnologia Mineral do IFRN, localizado no IFRN Campus Currais Novos.

## RESULTADOS OBTIDOS

A Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X (FRX) caracterizou as 7 (sete) amostras submetidas à análise e demonstrou que: a placa translúcida possui majoritariamente em sua composição o Zinco (Zn) com 14,07%, seguido de 10,62% de Cálcio (Ca) e 9,39% de Titânio (Ti), além de outros metais como Ferro (Fe), Chumbo (Pb) e Escândio (Sc) em concentrações acima de 6% cada um. Demais metais permaneceram com concentrações abaixo de 6% conforme tabela 1.

**Tabela 1:** Translúcido

Óxidos	m/m%	Elementos	m/m%
ZnO	17,520	Zn	14,070
TiO <sub>2</sub>	15,660	Ti	9,390
CaO	14,860	Ca	10,620
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,270	Fe	9,280
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10,520	Px	4,590
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,370	Sc	6,110
PbO	9,200	Pb	8,540
Cl	5,540	Cl	5,540
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,870	Cr	1,960
OsO <sub>4</sub>	0,640	Os	0,480
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,340	Sb	0,280
PdO	0,214	Pd	0,186
Ag <sub>2</sub> O	0,121	Ag	0,113
<b>Total:</b>	<b>100,00%</b>	<b>Total:</b>	<b>100,00%</b>

No caso da placa branca, conforme disposto na tabela 2, os elementos mais presentes são o Titânio (Ti) com 50,24%, seguido de Cálcio (Ca) com 8,89%. Os demais elementos metálicos da amostra branca possuem menos de 1% cada um na composição total do corpo de prova desta cor.

**Tabela 2: Branco**

Óxidos	m/m%	Elementos	m/m%
TiO <sub>2</sub>	83,800	Ti	50,240
CaO	12,430	Ca	8,890
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,977	Fe	0,684
PbO	0,822	Pb	0,763
ZnO	0,703	Zn	0,565
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,630	Px	0,274
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,243	Sc	0,158
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,202	Cr	0,138
OsO <sub>4</sub>	0,085	Os	0,063
CdO	0,041	Cd	0,036
PdO	0,024	Pd	0,021
Ag <sub>2</sub> O	0,024	Ag	0,022
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,022	Nb	0,015
<b>Total:</b>	<b>100,00%</b>	<b>Total:</b>	<b>100,00%</b>

Para a cor vermelha, a Espectroscopia registrou 21,73% de Titânio (Ti), 17% de Ferro (Fe) e 13,51% de Cálcio (Ca) na composição total da amostra. Cloro (Cl), por sua vez, está presente em 9,07% da amostra vermelha. Demais metais, conforme demonstra a tabela 3, representam juntos menos de 10% do total analisado.

**Tabela 3: Vermelho**

Óxidos	m/m%	Elementos	m/m%
TiO <sub>2</sub>	36,2500	Ti	21,7300
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,3100	Fe	17,0000
CaO	18,8900	Ca	13,5100
Cl	9,0700	Cl	9,0700
ZnO	6,4900	Zn	5,2200
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,3600	Sc	2,8400
PbO	0,4510	Pb	0,4190
PdO	0,1700	Pd	0,1480
<b>Total:</b>	<b>100,00%</b>	<b>Total:</b>	<b>100,00%</b>

A placa de cor preta, por sua parte, possui como elementos mais representativos o Cálcio (Ca) com 35,24% do total, o Titânio (Ti), representando 10,29% da amostra, e o Escândio (Sc) com 7,65%. A placa desta cor também apresenta em sua composição outros metais como o Ferro (Fe), Zinco (Zn) e o Chumbo (Pb), vide tabela 4.

**Tabela 4: Preto**

Óxidos	m/m%	Elementos	m/m%
CaO	49,2800	Ca	35,24000
TiO <sub>2</sub>	17,1600	Ti	10,29000
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,7300	Sc	7,65000
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,1800	Fe	5,02000
ZnO	5,7300	Zn	4,60000
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5,3900	Px	2,35000
Cl	2,6900	Cl	2,69000
CuO	0,4450	Cu	0,35600
PbO	0,2720	Pb	0,25200
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1180	Sb	0,09900
PdO	0,1110	Pd	0,09700
<b>Total:</b>	<b>100,00%</b>	<b>Total:</b>	<b>100,00%</b>

A amostra da cor verde apresentou como metais mais presentes o Titânio (Ti) e o Cálcio (Ca) com 29,40% e 25,15% respectivamente, seguido do Cloro (Cl) com percentual de 6,66% do material analisado. Demais metais juntos têm presença menor do que 10% do total, conforme disposto na tabela 5.

**Tabela 5:** Verde

Óxidos	m/m%	Elementos	m/m%
TiO <sub>2</sub>	49,0300	Ti	29,4000
CaO	35,1700	Ca	25,1500
Cl	6,6600	Cl	6,6600
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,4100	Fe	2,3900
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,1200	Sc	2,0300
CuO	1,6400	Cu	1,3100
ZnO	0,5080	Zn	0,4090
PbO	0,1690	Pb	0,1570
SrO	0,1160	Sr	0,0980
TeO <sub>2</sub>	0,1040	Te	0,0830
PdO	0,0475	Pd	0,0413
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0089	Nb	0,0062
<b>Total:</b>	<b>100,00%</b>	<b>Total:</b>	<b>100,00%</b>

A amostra de cor laranja, representada pela tabela 6, apresenta dois metais com grandes quantidades, são eles o Cálcio (Ca) com 35,59% e o Titânio (Ti) com 19,43%. Os outros metais presentes na amostra não têm representatividade maior, cada um, que 5% sobre o total do material analisado.

**Tabela 6:** Laranja

Óxidos	m/m%	Elementos	m/m%
CaO	45,5800	Ca	32,5900
TiO <sub>2</sub>	32,4100	Ti	19,4300
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,4800	Fe	3,1300
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,9700	Sc	2,5900
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,9500	Px	1,2900
PbO	2,5100	Pb	2,3300
SiO <sub>2</sub>	2,4900	Si	1,1600
Cl	2,3800	Cl	2,3800
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,2100	Cr	1,5100
ZnO	0,5910	Zn	0,4750
OsO <sub>4</sub>	0,2380	Os	0,1780
SrO	0,0980	Sr	0,0830
PdO	0,0670	Pd	0,0585
MoO <sub>3</sub>	0,0140	Mo	0,0093
<b>Total:</b>	<b>100,00%</b>	<b>Total:</b>	<b>100,00%</b>

A última cor analisada, a azul, representada pela tabela 7, apresenta metais como Cálcio (Ca) em 31,82% do total da amostra, seguido por Titânio (Ti) com 22,59%, Silício (Si), Ferro (Fe) e Zinco (Zn) com 2,19%, 2,54% e 2,33% cada um, respectivamente. Também foram apresentados outros metais conforme apresentados na tabela.

**Tabela 7: Azul**

Óxidos	m/m%	Elementos	m/m%
CaO	44,5100	Ca	31,8200
TiO <sub>2</sub>	37,6900	Ti	22,5900
SiO <sub>2</sub>	4,6900	Si	2,1900
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,6400	Fe	2,5400
ZnO	2,9000	Zn	2,3300
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,1200	Sc	1,3800
CuO	1,7300	Cu	1,3800
Cl	0,6760	Cl	0,6760
PbO	0,5450	Pb	0,5060
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2820	Cr	0,1930
K <sub>2</sub> O	0,2070	K	0,1720
Os <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,0650	Os	0,0480
PdO	0,0333	Pd	0,0289
<b>Total:</b>	<b>100,00%</b>	<b>Total:</b>	<b>100,00%</b>

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Segundo demonstrado por meio da Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X (FRX), metais como o Titânio (Ti), o Cálcio (Ca), Ferro (Fe) e Zinco (Zn) estão presentes em grandes quantidades na maioria das amostras analisadas. Outros metais também se fazem presentes nas placas de madeira plástica submetidas à análise. São eles: Fósforo (Px), Escândio (Sc), Chumbo (Pb), Cloro (Cl), Cromo (Cr), Ósmio (Os), Antimônio (Sb), Paládio (Pd), Prata (Ag), Cádmiio (Cd), Nióbio (Nb), Cobre (Cu), Estrôncio (Sr), Telúrio (Tr), Silício (Si), Molibdênio (Mo) e Potássio (K). Todavia, é importante ressaltar a possibilidade de contaminação das amostras devido ao processo rudimentar de preparação dos corpos de prova, utilizando ferramentas metálicas como o disco de corte da serra-mármore e o serrote de arco para cominuição do polímero.

A Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 52, de 26 de novembro de 2010, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que dispõe sobre corantes em equipamentos plásticos e embalagens destinadas a contato direto com alimentos, categoriza que os corantes não deverão conter metais e metalóides em quantidades superiores às seguintes porcentagens: 0.05% m/m de Antimônio (Sb), 0.005% m/m de Arsênio (As), 0.01% m/m de Bário (Ba), 0.01% m/m de Cádmiio (Cd), 0.01% m/m de Chumbo (Pb), 0.10% m/m de Cromo (Cr), 0.005% m/m de Mercúrio (Hg), 0.01% m/m de Selênio (Se) e 0.20% m/m de Zinco (Zn), solúveis em HCl 0,1N para todos os casos, segundo a normativa.

Os objetos das amostras deste trabalho, entretanto, são compostos por plásticos variados, incluindo de usos não-alimentícios como: produtos de higiene, cosméticos, produtos de limpeza e miscelâneas de uso doméstico. Assim, não é possível fazer comparação direta dos resultados obtidos com a legislação vigente.

## CONCLUSÕES

O processo de reciclagem artesanal envolve métodos e ferramentas que priorizam a facilidade e a praticidade na execução, gerando produtos de qualidade, aliando custo e benefício. Esta prática artesanal de reciclagem, todavia, carece de uma metodologia científica mais acurada e estudada de maneira mais profunda nos meios acadêmicos, haja visto a importância do tema na agenda global atual de desenvolvimento sustentável e proteção ao meio ambiente. Foi notória a dificuldade de encontrar metodologias para cominuir de maneira precisa e segura o material polimérico para execução da análise.

O uso de ferramentas rudimentares nos processos de reciclagem, ao trabalhar com o material, inclusive na preparação das amostras para a realização desse trabalho, é um ponto a ser ponderado e aperfeiçoado, pois pode acarretar contaminações imprevisíveis no produto final da reciclagem e nas análises laboratoriais realizadas a fim de entender melhor as características científicas envolvidas na produção da madeira plástica.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil). Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 52, de 26 de novembro de 2010. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Seção 1, 79. Brasília-DF, 22 de dezembro de 2010.
2. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil). Resolução nº 105, disposição geral 9 - Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Seção 1, 21. Brasília-DF, 20 de maio de 1999.
3. MANO, E. B., & MENDES, L. C. (1999). Introdução a Polímeros, 2ª edição. Editora Edgard Blucher LTDA, São Paulo.
4. MANO, E.B.; PACHECO, E.B.A.V; BONELLI, C.M.C. Meio Ambiente, Poluição e Reciclagem. Rio de Janeiro: Editora Edgard Blücher Ltda, p. 200, 2005.
5. PLASTICS EUROPE, 2011, Plastics – the Facts 2011. An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2011. Disponível em: <<http://www.plasticseurope.com>> Acesso em 22/01/ 2023.
6. PLASTICS EUROPE, 2022, Plastics – the Facts 2022. An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2011. Disponível em: <<https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>> . Acesso em 22/01/ 2023.
7. RIOS, L. M., MOORE, C., & JONES, P. R. (2007). Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. Marine pollution bulletin, 54(8), 1230-1237.
8. SANTOS, A.S.F.; AGNELLI, J.A.M.; MANRICH, S. Tendências e Desafios da Reciclagem de Embalagens Plásticas. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 14, nº 5, pp. 307-312, 2004.