cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Estudos de rotas de reciclagem para smartphones e seus componentes

Biazus, B. P. (1)*; Cenci, M. P. (1); Veit, H. M. (1).
1. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Introdução

Em 2022, apenas 22,3% dos 62 milhões de toneladas de resíduos eletroeletrônicos do mundo foram reciclados formalmente (3,2% no Brasil). Smartphones são abundantes e contêm Co, Li, Au e Pd, mas sua reciclagem ainda depende de desmontagem manual, que a pirólise de aparelhos inteiros dispensa.

Objetivos

Definir condições representativas de pirólise para smartphones inteiros, avaliando o efeito da temperatura e do tempo na perda de massa, nas emissões gasosas e na decomposição do cátodo, e propor uma separação granulométrica que concentre as baterias e gere uma fração fina de blackmass.

Metodologia

Smartphones Samsung G531F idênticos foram pirolisados em reator de poço sob N_2 (300 °C/h), a 500 e 600 °C por 15, 30 e 60 min. Mediram-se perda de massa, gases (FTIR) e decomposição do cátodo (DRX). O material pirolisado foi peneirado a 2 cm e 0,25 mm.

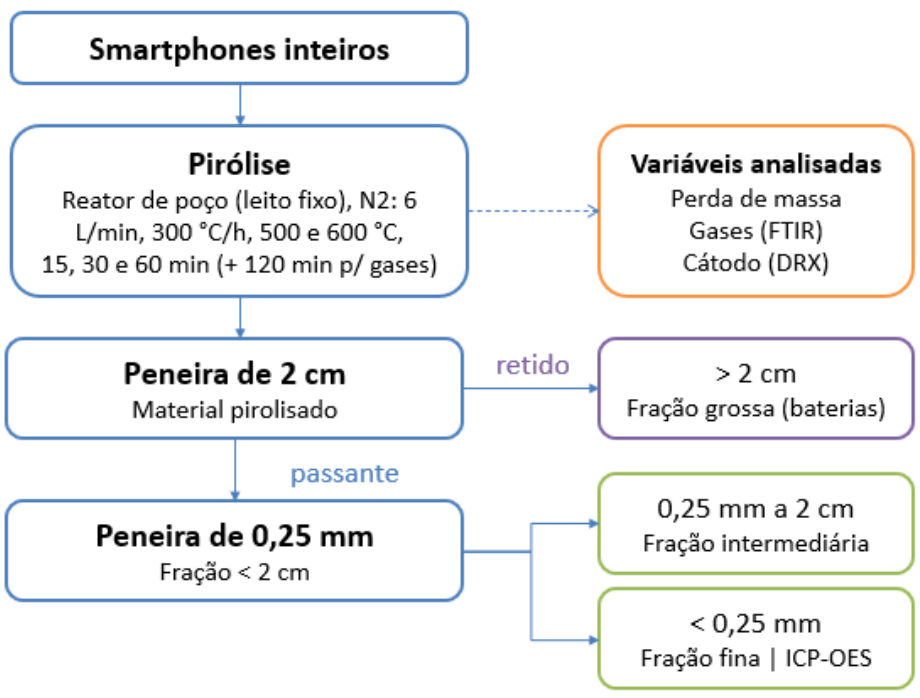


Figura 1. Etapas da metodologia: pirólise e separação granulométrica.

Resultados e Discussão

A perda de massa ficou entre 25,3% e 26,5% em cinco das seis condições; somente a 500 °C por 15 min foi menor (22,1%), indicando degradação incompleta.

Tabela 1. Distribuição de massa após a pirólise.

Fração	Massa (%)
> 2 cm (baterias)	72,5 ± 6,6
Intermediária	25,1 ± 5,5
< 0,25 mm (black mass)	2,4 ± 1,3

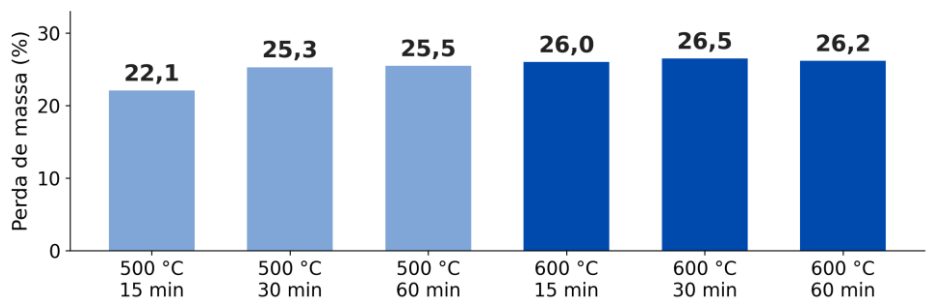


Figura 2. Perda de massa por temperatura e tempo.

As emissões totais têm perfil semelhante a 500 e 600 °C. A 600 °C há menos CO_2 (maior potencial energético) e mais aromáticos e metano. Compostos clorados foram detectados, exigindo tratamento dos gases.

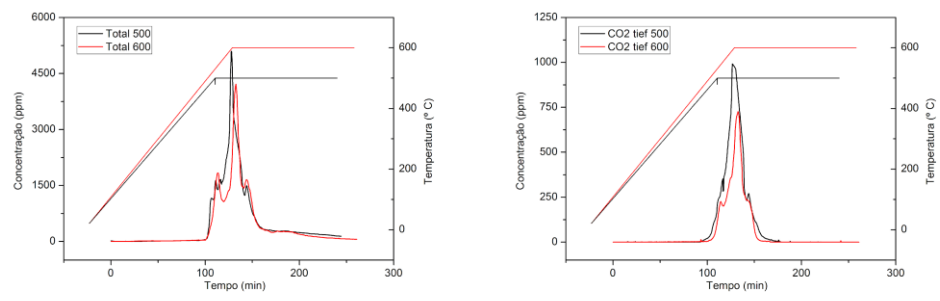


Figura 3. Emissões a 500 e 600 °C: (a) totais; (b) CO_2.

O DRX do cátodo indicou degradação completa e formação de Li_2CO_3 e CoO em todas as condições, exceto T500t15, que manteve o pico de $LiCoO_2$ (19°). Adotou-se T600t15 (600 °C, 15 min), com 26% de perda de massa.

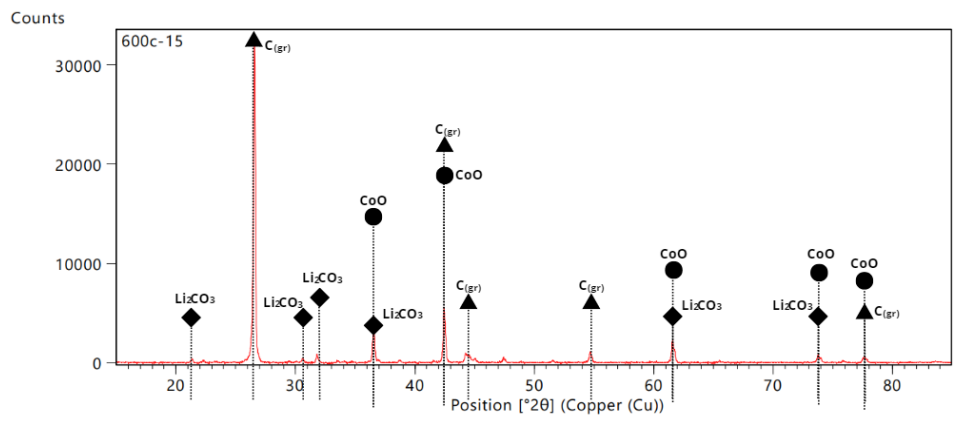


Figura 4. DRX do cátodo pós-pirólise (600 °C, 15 min).

Após a pirólise, 72,5% da massa ficou retida na peneira de 2 cm (com as baterias). A fração < 0,25 mm é uma blackmass com ~14% de Co e ~1,6% de Li.

Conclusões

A pirólise a 600 °C por 15 min garantiu a degradação completa do cátodo, a formação de Li_2CO_3, gases de maior valor (aromáticos e metano) e processo curto, sendo adotada como condição representativa. A peneira de 2 cm separa as baterias da fração fina, e a de 0,25 mm gera uma blackmass (~14% de Co; ~1,6% de Li) como produto final.

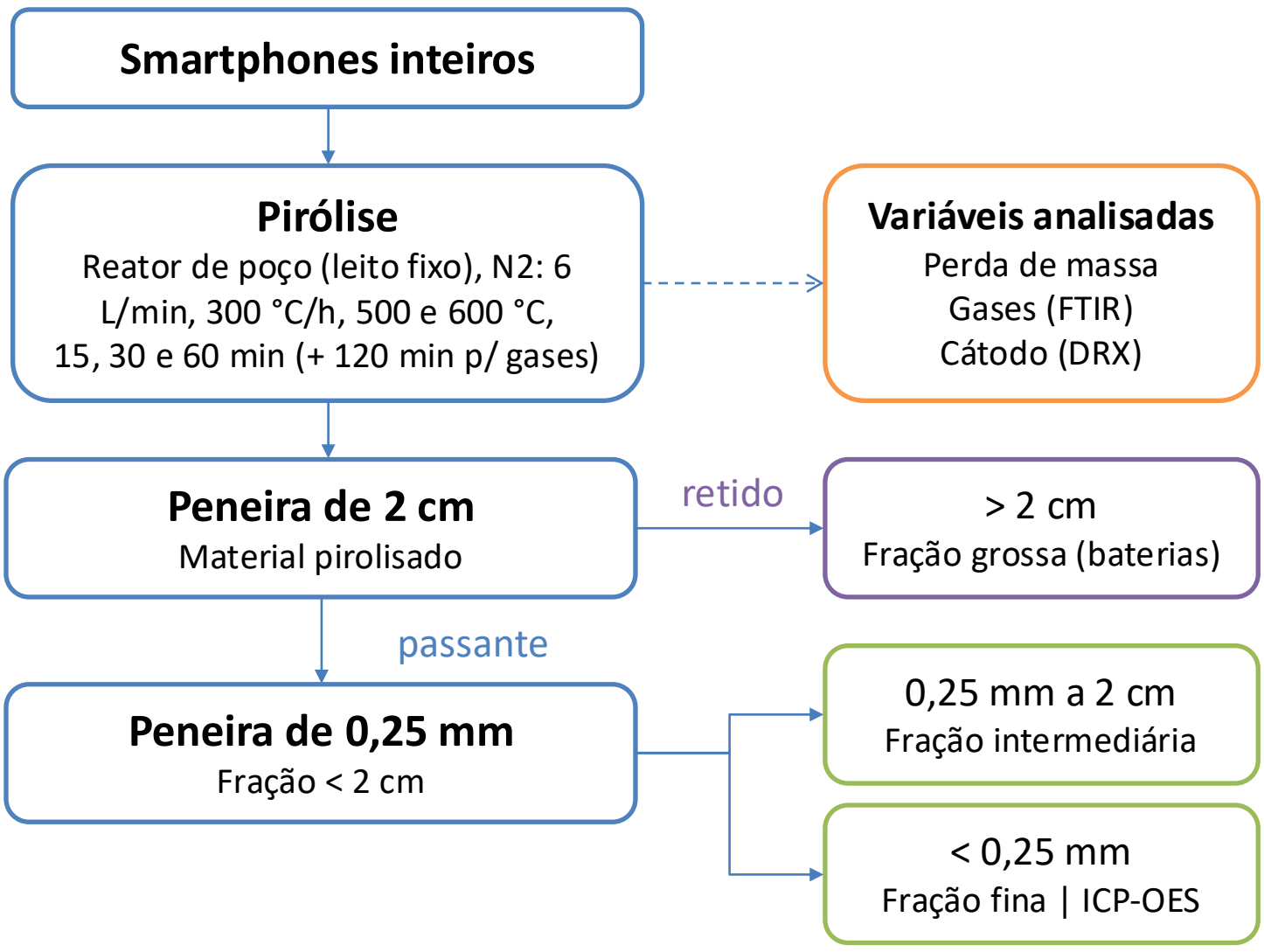
Referências

APAYDIN-VAROL, E.; POLAT, S.; PUTUN, A. E. Pyrolysis kinetics and thermal decomposition behavior of polycarbonate: a TGA-FTIR study. Thermal Science, v. 18, n. 3, p. 833–842, 2014.
ROUSSI, A. T.; VOUVOUDI, E. C.; ACHILIAS, D. S. Pyrolytic degradation kinetics of HIPS, ABS, PC and their blends with PP and PVC. Thermochimica Acta, v. 690, p. 178705, 2020.
BALDÉ, C. P. et al. Global E-waste Monitor 2024. Geneva; Bonn: ITU; UNITAR, 2024.

Agradecimentos

LACOR
LABORATÓRIO DE CORROSÃO, PROTEÇÃO E RECICLAGEM DE MATERIAIS
PPGE3M
minas metalúrgica materiais

FLUXOGRAMA


Smartphones inteiros
Pirólise
Reator de poço (leito fixo), N2: 6 L/min, 300 °C/h, 500 e 600 °C, 15, 30 e 60 min (+ 120 min p/ gases)
Variáveis analisadas
Perda de massa
Gases (FTIR)
Cátodo (DRX)
Peneira de 2 cm
Material pirolisado
retido
> 2 cm
Fração grossa (baterias)
passante
Peneira de 0,25 mm
Fração < 2 cm
0,25 mm a 2 cm
Fração intermediária
< 0,25 mm
Fração fina | ICP-OES