XXIV ENMC
Encontro Nacional de Modelagem Computacional
XII ECTM
Encontro de Ciência e Tecnologia de Materiais

CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE POLIAMIDA RECILADA PROVENIENTE DE RESÍDUOS TÊXTEIS

Petterson Borges Machado[1,2] – petterson.machado@iff.edu.br
José Brant de Campos[2] – brant@uerj.br
Letícia dos Santos Aguilera[3] – leticia.aguilera@iprj.uerj.br
Eustaquio Baeta[2] **-** eustaquiobaeta@hotmail.com

[1] Instituto Federal Fluminense – Santo Antônio de Pádua, RJ, Brazil
[2] Universidade do Estado do Rio de Janeiro, RJ, Brazil
[3] Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico – Nova Friburgo, RJ, Brazil

Resumo *A busca pela diminuição de resíduos sólidos, por parte das indústrias, é cada vez maior, não só por questões ambientais, mas também pelo crescente entendimento da necessidade de criar materiais e processos mais sustentáveis. Dessa forma, criar meios de reciclar e reutilizar materiais, que até então eram descartados, tem sido um trunfo nessa empreitada. Este trabalho se propôs a processar resíduos têxteis poliméricos (poliamida/elastano), que inicialmente possuem característica de altíssima elasticidade, transformando-o em um pó, com granulometria média inferior a 500 μm, que pode ser reprocessado e transformado em um novo material. Fez-se também a caracterização térmica desse material, de forma a determinar propriedades que demonstram a aplicação, foram executados os ensaios de termogravimétricas (TG/DTG) e calorimetria diferencial de varredura (DSC). Como resultados observou-se que, mesmo após o processamento, o material manteve características térmicas semelhantes ao da poliamida 6, que é o principal costituintee da microfibra.*

Palavras-Chave: *Poliamida, Resíduo Têxtil, Reciclagem , Análise térmica*

1. INTRODUÇÃO

As indústrias em geral, incluindo as têxteis, estão a procura de processos mais eficientes, econômicos e sustentáveis para não agredir o meio ambiente. Segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecções, Abit, no ano de 2019 o Brasil produziu 9,04 bilhões de peças (vestuário + meias e acessórios + cama, mesa e banho) e 2,04 milhões de toneladas. Tanto potencial na indústria têxtil resulta na geração de aproximadamente 160 mil toneladas de resíduos por ano no país (ABIT, 2019)

Atualmente muitos produtos têxteis são fabricados a partir de fios sintéticos puros ou em misturas com fios naturais. Entre as fibras poliméricas sintéticas, as fibras de poliamida estão entre as mais utilizadas e são consideradas as mais nobres das fibras sintéticas, devido as suas características de elevada resistência mecânica, elasticidade, maciez, leveza e brilho, podendo ser utilizada em uma variedade de aplicações têxteis. (YANG, 2007; MAKHLOUF, 2015).

Desta forma, entendendo a grande demanda por esses materiais esse trabalho apresenta um meio de processar e reutilizar resíduos de fibras poliméricas (poliamida), que iriam ser

descartados, além disso busca-se entender características térmicas deste polímero para fornecer parâmetros e procedimentos a serem adotados durante o seu reprocessamento. As técnicas de calorimetria diferencial (DSC) e termogravimetria (TG/DTG) fornecem informações importantes para estabelecer condições de processamento dos polímeros como temperaturas de transição vítrea (Tg), temperatura de fusão (Tf) e a perda de massa em função da temperatura. Entendendo as características e variáveis de processamento pode-se aplicar tal polímero com melhor desempenho de suas propriedades, sobretudo mecânicas, e reduzir problemas de qualidade dos produtos obtidos a partir deste material polimérico.

2. EXPERIMETAL

2.1 Material

Os rejeitos poliméricos utilizados no presente estudo foram fornecidos por uma empresa do ramo de confecção de roupa íntima feminina da cidade de Nova Friburgo - RJ Estes rejeitos são constituídos por retalhos de microfibra uma fibra (incluindo fibras descontínuas e filamentos) de densidade linear de aproximadamente 1 decitex1 (dtex) (MAKHLOUF, 2008) ou menos e acima de 0,3 dtex, incluem todos os fios sintéticos com títulos (ABINT, 2016) de 1 dtex por filamento de poliéster e 1,2 dtex por filamento de poliamida, com diâmetro entre 10 e 12 µm, respectivamente.

A microfibra utilizada é da marca advance com composição de 87% de poliamida e 13% de elastano. Após a coleta o tecido foi separado e colocado em um recipiente metálico para sua fusão, o material foi aquecido a uma temperatura próxima a 300º C, acima da temperatura de fusão do material, como pode ser verificado na Tabela 1 com propriedades físicas das poliamidas 6 e 6.6 (COOK, 2001) e (YANG, 2007), até que todo o material estivesse fundido, posteriormente, após a completa fusão do tecido, o mesmo em estado pastoso, foi imediatamente esparramado sobre uma pedra de mármore, em temperatura ambiente, e em poucos segundos voltou a ter estrutura sólida, contudo observou-se que houve uma mudança em sua estrutura, anteriormente o material tinha um comportamento altamente elástico, passando após o resfriamento ter sua estrutura dura e quebradiça.

Tabela 1- Propriedades das poliamidas 6 e 6.6.

Tipo de polímero	**Poliamida 6**	**Poliamida 6.6**
Massa molecular (g mol-1)	20000-30000	12000-20000
Temperatura de transição vítrea (°C)	45-75	60-80
Temperatura de fusão (°C)	210-220	255-265
Temperatura de Cristalização (ºC)	180-190	215-225
Densidade (g cm-3)	1,14	1,14
***Regain* (%)**	4-4,5	4-4,5
Alongamento (%)	23-42,5	26-32
Módulo de elasticidade à tração (MPa)	1800	2000
Tenacidade a seco (cN/tex)	39,7-51,2	40,6-51,2

Fonte: Adaptado de (Cook, 2001), (Salehi-mobarakeh, 2012) e (Yang, 2007).

Posteriormente submeteu-se esse material a uma moagem. Foi moído em moinho de bolas de alumina com diâmetro médio de 4 cm, e a rotação ficou entre 4 e 20 rotações por minuto, durante 24 h. Após a moagem obteve um pó fino, que passou em uma peneira de 1mm. A Figura 1 mostra as etapas do processamento.

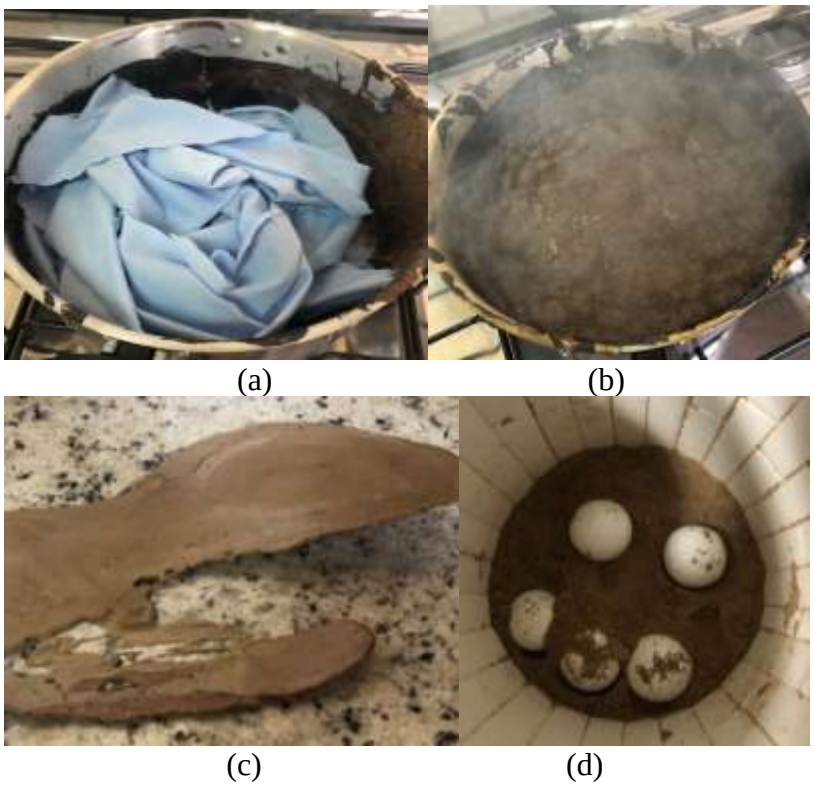

Figura 1 – Processamento do material - (a) – Tecido de Microfribra colocado na panela; (b) – Tecido completamente fundido; (c) tecido endurecido; (d) Resultado da moagem

2.2 Análises Térmicas

Os resíduos de microfibra foram analisados através da técnica de calorimetria exploratória diferencial (DSC), além da análise termogravimétrica (TGA), em conjunto com a análise termogravimétrica derivativa (DTG) utilizando-se o equipamento PerkinElmer, modelo STA-6000 Simultaneous Thermal Analyzer, onde os ensaios de DSC e TG são realizados simultaneamente.. Aproximadamente 23 mg de amostra foi usado. Cápsulas de porcelana foram utilizadas e, em atmosfera de nitrogênio, os procedimentos de análise ocorreram mediante quatro etapas: (i) aquecimento da amostra da temperatura ambiente até 250 °C com uma taxa de 20 °C/min; (ii) Isoterma em 250 °C por 2 minutos; (iii) Resfriamento de 250 °C até temperatura ambiente com taxa de 10 °C/min; (iv) Aquecimento da temperatura ambiente até 700 °C com taxa 10 °C/min.

Parâmetros de interesse como a temperatura de cristalização (T_c); a temperatura de fusão (T_m – correspondente ao segundo aquecimento); a entalpia de cristalização (ΔH_c – medida da área sob a exoterma); a entalpia de fusão (ΔH_m – medida da área sob a endoterma); foram obtidos a partir dos termogramas com auxílio do programa OriginPro, versão 8.5.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise Termogravimétrica (TG)

As curvas de análise térmica (TG e DTG) para o polímero processado são apresentadas na Figura 2 .

Considerando a Figura 2, da temperatura ambiente até aproximadamente 320 ºC a perda de massa foi de 4 %, em média, correspondendo a perda de umidade que pode ainda estar presente no polímero. A decomposição do polímero processado inicia-se em torno de 360 ºC até aproximadamente 490 ºC. O teor de resíduos em 700 ºC foi de aproximadamente 5 %. Este pode estar associado ao óleo de usinagem utilizado no processo de produção de fios têxteis, aos pigmentos de corantes utilizados no tingimento do tecido e a demais resíduos oriundos do processo de síntese da microfibra e do processamento feito da mesma. O pico na curva dTG, que se encontra em 441,73 ºC, corresponde a perda máxima de massa da microfibra processada.

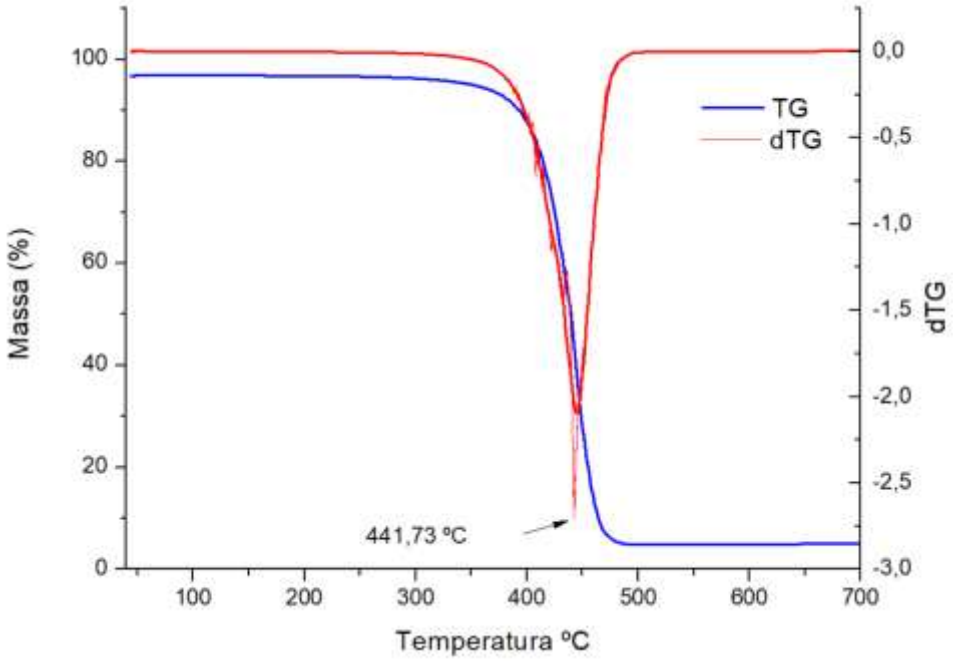

Figura 2 – Curvas de TG e dTG da tecido processado.

3.2 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

A colorimetria exploratória diferencial foi empregada para identificar a temperatura de fusão (T_m), temperatura de cristalização (T_c), calcular as entalpias de fusão (ΔH_m) e de cristalização (ΔH_c) do polímero analisado. Todas as propriedades foram calculadas com o auxílio do software Pyris Manager. A Figura 3 mostra a curva de DSC para a microfibra processada e refere-se ao primeiro aquecimento da temperatura ambiente a 250 ºC e um resfriamento de 250 º C a temperaturara ambiente, ambos em atmosfera de nitrogênio. A Figura 4 mostra a curva de DSC para a microfibra processada e refere-se ao segundo aquecimento da temperatura ambiente a 700 ºC, em atmosfera de nitrogênio. Na Figura 3 é possível observar a presença um pico endotérmico a 208,07 ºC, que corresponde a fusão e um pico exotérmico a 165,02 ºC que corresponder a temperatura de cristalização do material, que ocorre no resfriamento. Encontra-se também, na Figura 4, um pico endotérmico a 203,14 ºC que corresponde a temperatura de fusão do material. Esses picos podem ser associados a poliamida 6 presente no material pois estão com resultados consistentes com os relatados na literatura (COOK, 2001; SALEHI-MOBARAKEH, 2012; YANG, 2007) e podem ser verificados na tabela 1. A presença do elastano não pode ser confirmada com as análises apresentas, apenas visualmente fazendo a desmalhagem da malha. Na Tabela 2 encontram-as temperaturas dos eventos observados.

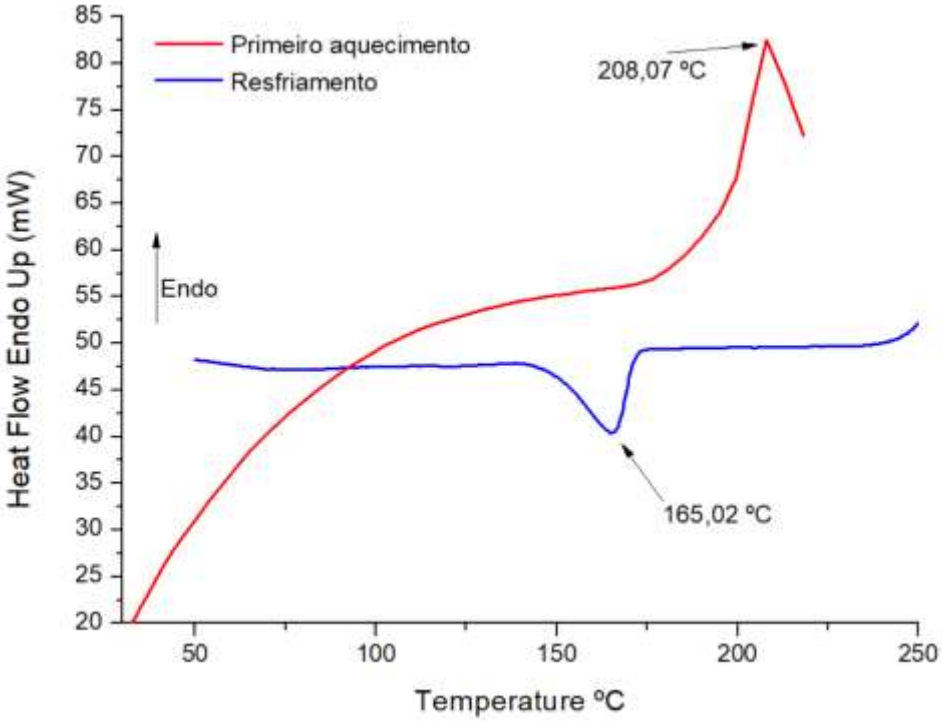

Figura 3 – Curvas DSC: primeira corrida de aquecimento e resfriamento

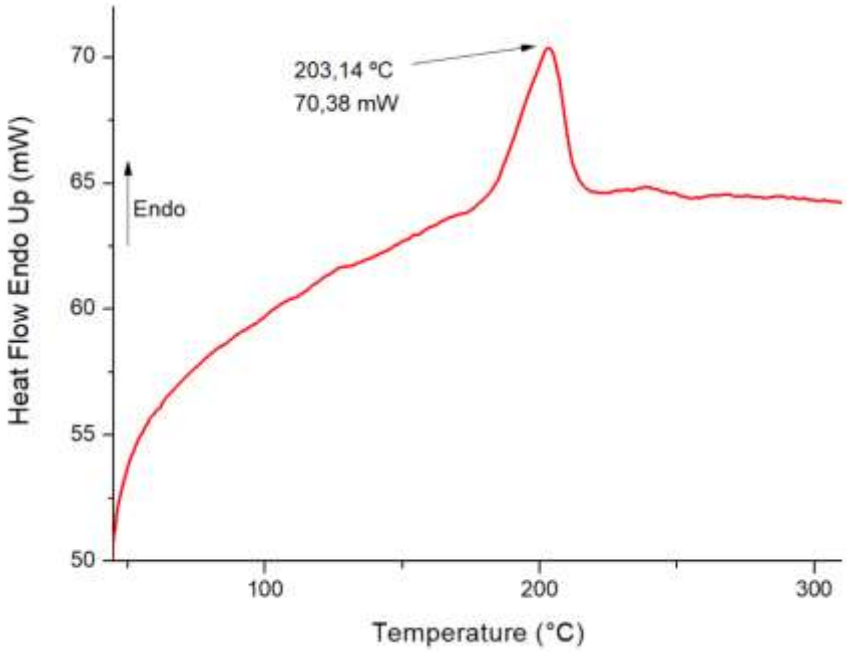

Figura 4 – Curva DSC: segunda corrida de aquecimento

Tabela 2 - Propriedades térmicas obtidas a partir do DSC a microfibra processada

Polímero	T_m (°C)	T_c (°C)	ΔH_m (J/g)	ΔH_c (J/g)
Microfibra Processada	203,14	165,02	25,29	-31,77

4. CONCLUSÕES

A microfibra foi processada de forma a observar características que permitam seu reaproveitamento, tendo sido caracterizada por meio de análises de TG/DTG e DSC,.

As análises de TG/ DTG permitiram observar a perda de massa, para o polímero processado, em torno de 4%, que está associado a perda de umidade até a temperatura de 320 ºC. Uma perda de massa mais acentuada foi observada entre 360°C e 490°C com pico de degradação em 441,73 ºC.

No gráficos de DSC pode-se observar eventos exotémicos por volta de 165º e endotérmicos por volta de 205 ºC provavelmente associados às temperaturas de cristalização e fusão do material, respctivamente. A partir das curvas do polímero, pode-se observar que não houve variação considerável nos eventos da estabilidade térmica quando comparado com a poliamida 6, predominate na microfibra.

De modo geral, pode-se afirmar que houve uma equivalência das propriedades da microfibra processada, quando comparda com a poliamida 6. Esses resultados indicam o potencial de aplicação, desse material reciclado, em usos onde a poliamida 6 é requerida.

REFERÊNCIAS

ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecções (2021) – Disponível em: https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor. Acessado em: 30 de maio de 2021.

ABINT - Classificação dos têxteis técnicos (2021) – Disponível em: https://www.abint.org.br/texteis-tecnicos/classificacao . Acessado em: 30 de maio de 2021.

COOK, J. G. Polyamide fibres. in: _____. Handbook of Textile Fibres, Vol.II: Man-Made Fibres, 5 Ed., England: Woodhead Publishing Limited, 2001.

FEBRATEX – Feira Brasileira para a Indústria e de Confecção – Disponível em: https://fcem.com.br/noticias/segmento-textil-os-4-principais-do-mercado-brasileiro/. Acessado em: 30 de maio de 2021.

MAKHLOUF, C.; KACEM, C.; ROUDESLI, S.; SAKLI, F. Dyeing behaviour of unmodified and polyamide 6.6 fibers of different levels of fineness. *Journal of applied sciences*, v. 8, n. 1, p. 77-85, 2008.

MAKHLOUF, C.; LADHARI, N.; BRAHAM, D.; ROUDESU, S.; SAKLY, F. The improvement in dyeing properties of modified polyamide 6.6 microfibers with a cationic dye. *International journal of applied research on textile*, v. 3, n. 1, p. 44-57, 2015.

SALEHI-MOBARAKEH, H. et al. Modifying Montmorillonite Clay via Silane Grafting and Interfacial Polycondensation for Melt Compounding of Nylon-66 Nanocomposite. Journal of Applied Polymer Science, v. 124, p. 1501–1510, 2012.

YANG, H. H. Polyamide fibers. In: LEWIN M, editor. Handbook of Fiber Chemistry, 3 Ed., Boca Raton: Taylor & Francis, 2007, p. 31-138.

THERMAL CHARACTERIZATION OF RECILLED POLYAMIDE FROM TEXTILE WASTE

Abstract *The search for the reduction of solid waste, by the industries, is increasing, not only for environmental issues, but also for the growing need to create more sustainable materials and processes. Thus, creating ways to recycle and reuse materials, which until then were discarded, has been an asset in this endeavor. This work was proposed to process polymeric textile waste (polyamide / elastane), which has a characteristic of very high elasticity, transforming it into a powder, with an average particle size of less than 500µm, which can be reprocessed and transformed into a new material. The thermal characterization of this material was also done, in order to determine the properties that determine the application, were the thermogravimetric (TG), thermogravimetric derivative (DTG) and differential scanning calorimetry (DSC) tests. As a result, it was observed that the processed material has thermal characteristics similar to polyamide 6, which is the main constituent of the microfiber.*

Keywords: *Polyamide, Textile waste, Recycling, Thermal analysis.*