

Caracterização de Poliamida 6.6 Regular e Poliamida 6.6 Biodegradável

Characterization of Regular Polyamide 6.6 and Biodegradable Polyamide 6.6

Caractérisation du Polyamide 6.6 ordinaire et Polyamide 6.6 biodégradable

DOI: 10.5965/25944630932025e7535

Júlia Pereira Lima Escobosa

Universidade de São Paulo.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0631-1614>

Julia Baruque-Ramos

Universidade de São Paulo.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5538-0544>

João Paulo Pereira Marcicano

Universidade de São Paulo. ORCID:

<https://orcid.org/0000-0002-8509-8259>



Licenciante: *Revista de Ensino em Artes, Moda e Design*, Florianópolis, Brasil.

Este trabalho está licenciado sob uma licença **Creative Commons Attribution 4.0 International License**.

Publicado pela Universidade do Estado de Santa Catarina



UDESC

UNIVERSIDADE DO ESTADO
DE SANTA CATARINA

Copyright: © 2025 pelos autores.

Submetido em: 07/07/2025

Aprovado em: 25/08/2025

Publicado em: 15/10/2025

Resumo

O presente estudo teve como objetivo analisar comparativamente a poliamida 6.6 regular e a poliamida 6.6 biodegradável, com foco em suas propriedades físico-químicas. Para isso, foram realizados levantamento bibliográfico, visitas técnicas e entrevistas (com coleta de dados qualitativos junto a profissionais da área) com a empresa produtora de ambas as fibras no Brasil (Rhodia do grupo Solvay). Além disso, foram conduzidos testes laboratoriais com fios e tecidos de malha confeccionados a partir dessas duas poliamidas. Foram realizados testes de alongamento de ruptura, tenacidade, regain, gramatura e FTIR com ATR. Os resultados não revelaram diferenças significativas. Embora a poliamida 6.6 biodegradável prometa vantagens ambientais, essas não puderam ser comprovadas nos limites deste estudo. Conclui-se que mais pesquisas são necessárias para validar seu impacto sustentável na prática.

Palavras-chave: Polímeros (materiais). Sustentabilidade. Biodegradação.

Abstract

This study aimed to conduct a comparative analysis of conventional polyamide 6.6 and biodegradable polyamide 6.6, focusing on their physicochemical properties. To achieve this, a literature review was carried out, along with technical visits and interviews (involving qualitative data collection from industry professionals) with the Brazilian producer of both fibers (Rhodia, part of the Solvay Group). Additionally, laboratory tests were conducted on yarns and knitted fabrics made from these two polyamides. The tests included breaking elongation, tenacity, moisture regain, fabric weight measurements, and FTIR-ATR spectroscopy. The results did not reveal significant differences. Although biodegradable polyamide 6.6 promises environmental benefits, these could not be confirmed within the scope of this study. It is concluded that further research is necessary to validate its sustainable impact in practice.

Keywords: Polymers (materials). Sustainability. Biodegradation.

Resumé

Cette étude avait pour objectif d'analyser de manière comparative le polyamide 6.6 conventionnel et le polyamide 6.6 biodégradable, en se concentrant sur leurs propriétés physico-chimiques. Pour ce faire, une revue de la littérature a été réalisée, ainsi que des visites techniques et des entretiens (incluant une collecte de données qualitatives auprès de professionnels du secteur) avec l'entreprise brésilienne productrice des deux fibres (Rhodia du groupe Solvay). De plus, des tests en laboratoire ont été menés sur des fils et des tissus tricotés fabriqués à partir des deux polyamides. Les essais ont porté sur l'allongement à la rupture, la ténacité, la réhumidité, le grammage et la spectroscopie FTIR-ATR. Les résultats n'ont pas révélé de différences significatives. Bien que le polyamide 6.6 biodégradable promette des avantages environnementaux, ceux-ci n'ont pas pu être confirmés dans le cadre de cette étude. En conclusion, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour valider son impact durable dans la pratique.

Mots-clés : polymères (matériaux). durabilité. biodégradation.

¹ Júlia Pereira Lima Escobosa, Mestranda em Têxtil e Moda pela Universidade de São Paulo (USP), com pesquisa sobre poliamida 6.6 regular e biodegradável. Graduada em Moda pela Universidade Anhembi Morumbi (2013) e pós-graduada em Meio Ambiente e Sustentabilidade pela Fundação Getúlio Vargas – FGV (2021). E-mail: juliaescobosa@usp.br; Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3679443128435159>; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0631-1614>

² Julia Baruque-Ramos, Professora Associada da EACH-USP (livre-docência em 2011). Doutora, Mestre e Bacharel em Engenharia Química (USP) e Bacharel em Direito (USP). Agraciada com Menção Honrosa (Prêmio Nacional de Ciência e Tecnologia da SUS 2005). Especialista em Engenharia Química e Bioquímica, com foco em tecnologia têxtil e biotecnologia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5538-0544>

³ João Paulo Pereira Marcicano, Engenheiro Mecânico pela Universidade de São Paulo (1989), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (1995) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (2000). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8509-8259>

1 Introdução

O náilon (*nylon*), também conhecido como poliamida, refere-se ao grupo de termoplásticos conhecidos como poliamidas alifáticas, que são tipificadas pelo grupo amido (—CONH—). O grupo engloba uma infinidade de tipos de materiais (poliamida 6.6, poliamida 6.12, poliamida 4.6, poliamida 6, poliamida 12), que fornecem uma grande gama de propriedades adequadas para uma ampla variedade de aplicações, desde o pneu de uma aeronave até o pano de um paraquedas (Bunsell, 2009), oferecendo alta resistência de força e abrasão, boa elasticidade e uniformidade, além de boa resistência a umidade e grande capacidade de absorção (Horrocks, 2000; Anand, 2000), sendo estas propriedades notadas na fabricação de roupas, no forramento de tapetes, cordas, reforço pneumático, dentre outros (Oliveira, 2009).

A poliamida representa um marco significativo na história das fibras sintéticas, sendo a primeira a ser produzida em larga escala, ainda antes da Segunda Guerra Mundial. Sua origem remonta à década de 1920, nos laboratórios da empresa DuPont, localizados em Wilmington, Estados Unidos, sob a liderança do químico Wallace Carothers. Nascido em 1896, Carothers foi contratado pela DuPont em 1928 para conduzir pesquisas voltadas ao desenvolvimento de novos materiais, sendo reconhecido por sua notável produção científica prévia (Mcintyre, 2004; Kohan, 1986).

Os estudos conduzidos por Carothers e sua equipe levaram à produção de macromoléculas com massas molares superiores a 4.000, um feito notável à época, alcançado por meio da reação de poliesterificação — processo que envolve a reação entre diácidos e glicóis, com a liberação de moléculas de água como subproduto (Trossarelli, 2010). Em 1930, Carothers e o químico Berchet estudaram a polimerização térmica do ácido ϵ -aminocaproico, observando a formação de uma mistura entre poliamidas e o monômero cíclico ϵ -caprolactama, embora inicialmente sem sucesso na obtenção de fibras, possivelmente devido ao baixo peso molecular do material (Mcintyre, 2004).

Em sequência, novas experiências foram conduzidas com diferentes combinações de ácidos dibásicos e diaminas alifáticas, resultando em poliamidas com maior insolubilidade e elevadas temperaturas de fusão, em comparação com os

poliésteres até então sintetizados (Mcintyre, 2004). Foi somente em 1935 que a poliamida 6.6 foi efetivamente sintetizada por Carothers, a partir da reação entre hexametilenodiamina e ácido adípico. Esse desenvolvimento resultou na primeira patente de uma fibra sintética, e sua comercialização foi oficialmente anunciada pela DuPont em 1938, com a produção em escala industrial sendo iniciada em 1939 (Bunsell, 2009). A nova fibra passou a ser conhecida pelo nome comercial de *nylon* (náilon), denominação que se consolidou ao longo do tempo (Mcintyre, 2004).

Pouco tempo depois do desenvolvimento da poliamida 6.6, a poliamida 6, também conhecida como nylon 6, foi inventada por Paul Schlack, na IG Farben, na Alemanha, em 1938. Foi desenvolvida como uma alternativa à poliamida 6.6, buscando contornar as patentes da DuPont. É obtida através da polimerização da caprolactama, a qual é uma amida cíclica de 6 carbonos, apresentando-se como sólido cristalino incolor, que serve como monômero para a produção da poliamida 6 (Mcintyre, 2004). Atualmente é importada e consumida no Brasil juntamente com a poliamida 6.6.

Ambas as poliamidas (6.6 e 6) são polímeros sintéticos com estrutura molecular em cadeia, formadas por grupos amida repetidos e são conhecidas por sua resistência, durabilidade e versatilidade, o que as torna materiais importantes em diversas indústrias, incluindo a indústria têxtil (Mcintyre, 2004). Ambas são fibras leves, macias, que possuem baixo grau de encolhimento, com alto grau de elasticidade, resistência ao uso, secam rapidamente, têm baixa condutividade térmica e moderada capacidade de absorção de transpiração corporal, além de possuir boa aceitação para acabamentos têxteis. São bastante adequadas para a confecção de moda íntima, roupas de banho, meias e artigos de moda fitness (Oliveira, 2009).

No Brasil, a produção da poliamida 6.6 com propriedades biodegradáveis teve início apenas em 2014, conduzida pela Rhodia, empresa do grupo Solvay (Solvay, 2024), cujas características serão abordadas com mais detalhes mais adiante.

Tendo em vista o crescente debate em torno da sustentabilidade ambiental, o qual tem despertado questionamentos sobre o impacto de fibras sintéticas no ciclo de vida dos produtos, especialmente no que se refere à sua origem fóssil e à persistência no meio ambiente, surge o interesse de estudar a poliamida 6.6 biodegradável em relação à poliamida 6.6 regular.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo realizar análise de dados em literatura sobre as propriedades da poliamida 6.6 regular e poliamida 6.6 biodegradável, seguida de testes físico-químicos comparativos entre seus fios e tecidos de malha (produzidos a partir desses fios), incluindo alongamento de ruptura, tenacidade, *regain* e gramatura, além do teste de FTIR com ATR.

2. Propriedades das Poliamidas Regulares 6 e 6.6

As propriedades mecânicas tanto da poliamida 6 quanto da 6.6 dependem do seu peso molecular e da distribuição de peso das cadeias poliméricas, juntamente com a sua estrutura morfológica, orientação da cadeia e o grau de ordem das fibras. As condições de fiação, desenho e de tratamento de aquecimento ditam grande parte da estrutura morfológica (Horrocks, 2000; Anand, 2000; Richards, 2005). Na **Tabela 1** são apresentadas as propriedades físico-químicas das poliamidas regulares 6 e 6.6.

Tabela 1 - Propriedades físico-químicas das poliamidas regulares 6 e 6.6

Propriedades	Poliamida 6	Poliamida 6.6
Tenacidade (cN/tex)	45-90 (540-1080 em MPa)	55-90 (600-1080 em MPa)
Carga de Ruptura (%)	15-40	15-30
Módulo de Young (cN/tex)	150-500 (1800-600 em MPa)	250-450 (3000-5400 em MPa)
Temperatura de transição vítrea (°C)	25	47
Temperatura de fusão (°C)	215	260
Capacidade de aquecimento específico J/g(°C)	430	620
Índice de oxigênio limitante (LOI)	20	22

Fonte: Adaptado de (Bunsell, 2009)

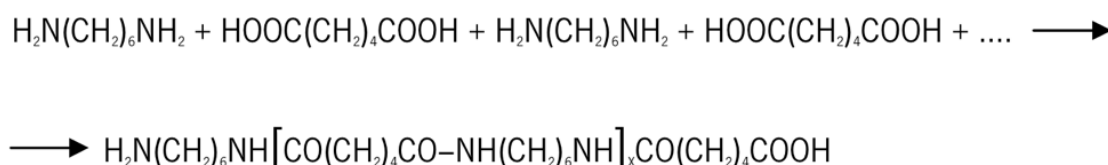
Apesar de ambas as poliamidas terem os mesmos tipos de aplicação na indústria têxtil (confeção de moda íntima, roupas de banho, meias e artigos de moda fitness), com diferenças de absorção do corante em seu processo de tingimento (Rosa, 2003; Oliveira, 2009), elas possuem diferenças significativas em demais propriedades que implicam usos distintos em outros setores industriais. Como evidenciado pelos dados da Tabela 1, elas se diferenciam pelo ponto de fusão, sendo que a poliamida 6.6 possui um ponto de fusão mais alto (aproximadamente 260°C) em comparação com a poliamida 6 (cerca de 215°C), tornando-a mais adequada para aplicações de alta

temperatura. Além disso, a poliamida 6.6 é mais rígida e resistente ao impacto (conforme evidenciado pelos valores de módulo de Young), enquanto a poliamida 6 é mais flexível e possui melhor usinabilidade. Deste modo, a poliamida 6 é frequentemente usada em peças que exigem flexibilidade e bom acabamento superficial, como engrenagens, buchas e componentes para a indústria elétrica e automotiva. A poliamida 6.6 é mais utilizada em aplicações que exigem alta resistência mecânica e térmica, como peças para bombas, válvulas e componentes automotivos (Bunsell, 2009).

2.1.1 Poliamida Regular 6.6 (náilon 6.6)

A poliamida 6.6 é obtida através da policondensação de diaminohexano 1,6 (ou hexametilenodiamina) e ácido hexanodióico, normalmente chamado de ácido adípico (RICHARDS, 2005; SACCHI, 2016) (**Figura 1**).

Figura 1 - Reação de polimerização da poliamida 6.6



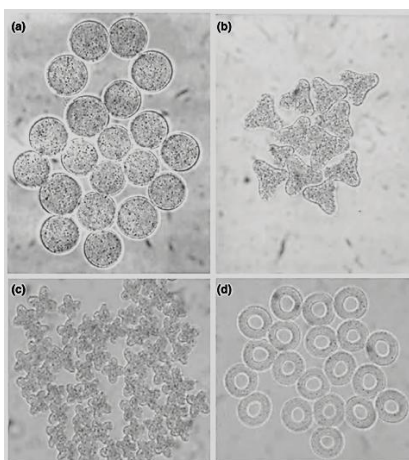
Fonte: (Oliveira, 2009).

Na polimerização da poliamida 6.6, o ácido adípico e a hexametilenodiamina reagem juntos em quantidades equimolares na temperatura ambiente para formar o “sal de náilon”. O sal é preparado misturando uma dispersão do diácido na água com a solução de diamina para resultar em uma solução de 50-60% de sal na água. O sal puro precipita e é dissolvido na solução com água (Richards, 2005).

A alta resistência à degradação das poliamidas sintéticas é causada pela alta simetria de suas estruturas moleculares e pela forte força coesiva intermolecular causada pelas ligações de hidrogênio entre as cadeias moleculares, o que resulta em uma morfologia altamente cristalina (orientada molecularmente) (Sacchi; Marcicano; Vasconcelos, 2021). Suas fibras podem ser produzidas em diferentes formatos transversais. Os mais comuns são o formato circular e trilobal (para efeito de mais brilho), mas as fibras podem ser produzidas em outros formatos a depender da aplicação

(Sacchi, 2016) (**Figura 2**).

Figura 2 - Fibras de poliamida com seção transversal (a) redonda, (b) trilobal, (c) quadrilobal e (d) oca.



Fonte: (Richards, 2005).

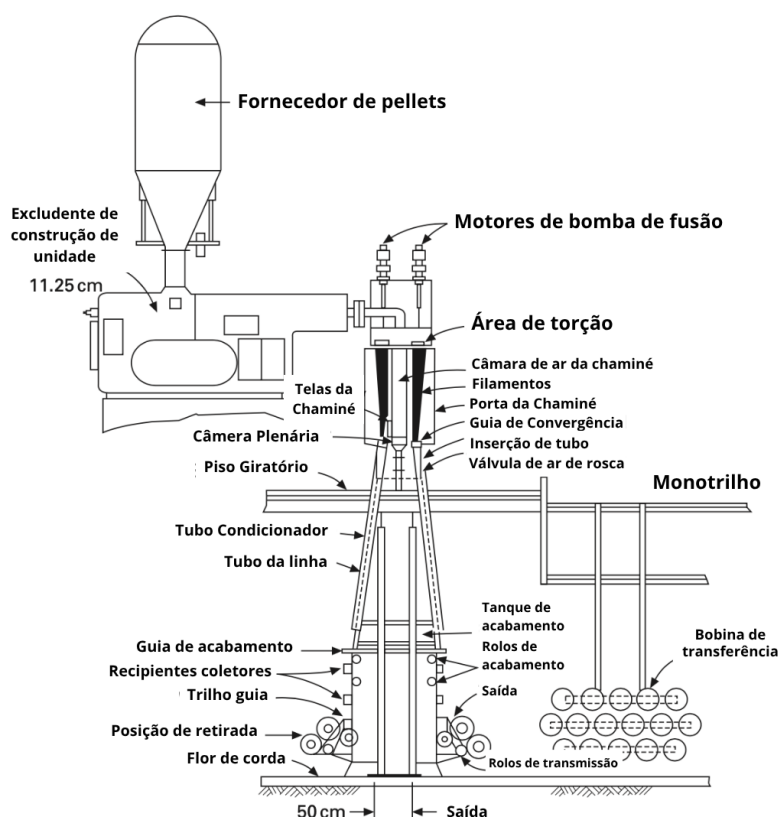
Fibras com esses formatos são empregadas para aplicações industriais e para o vestuário, por sua resistência e pelo brilho (que pode ser modificado, além da opacidade, pela adição de dióxido de titânio ao polímero antes da extrusão) (Richards, 2005).

2.1.2 Processo de fiação por fusão

Todas as poliamidas alifáticas (de cadeia aberta) são polímeros termoplásticos, portanto são suficientemente estáveis no estado fundido, e suas viscosidades de derretimento são relativamente baixas. Para as poliamidas, o processo de fiação por fusão é o método preferível e tecnologicamente adequado para sua produção, além de ser econômico e mais sustentável (Horrocks; Anand, 2000).

O processo de fiação por fusão para a fabricação de fibras têxteis é mostrado esquematicamente na **Figura 3**. O polímero é preparado para alcançar a viscosidade desejada, ao qual são agregados opacificantes, pigmentos, agentes antiestáticos e estabilizadores contra o calor e a degradação pela luz (Richards, 2005).

Figura 3 - Esquema de derretimento no processo de fabricação de fios da poliamida



Fonte: Traduzido de (Bunsell, 2009).

A temperatura de derretimento na extrusora deve ser de 285-300°C para a poliamida 6.6. O tempo de retenção ou o tempo de resistência do polímero fundido deve ser longo o suficiente na temperatura mencionada para que a massa fundida seja homogênea e transparente (Horrocks; Anand, 2000).

Após passar pelo filtro para remover grandes partículas de polímero, pequenas partículas de gel e pequenos materiais, o polímero passa para a extrusora. Normalmente pacotes de areia, placas de metal e estruturas de não tecido são utilizados como agentes filtrantes (Bunsell, 2009). O polímero fundido é extrudido através da fiação, a qual tem vários pequenos orifícios (cerca de 200-400 µm de diâmetro). Os orifícios são normalmente circulares, mas podem ter outros formatos como o trilobal (Figura 2).

O polímero fundido após a extrusão emerge em ambiente abaixo da temperatura de solidificação, formando filamentos, os quais são enrolados em um rolo que se move a uma velocidade linear muito maior do que a velocidade de extrusão. A

velocidade de recolhimento é tipicamente mais de 3.000 m/min, enquanto a velocidade linear média através da fieira é tipicamente duas ordens de magnitude menor (Sacchi, 2016) (**Figura 3**).

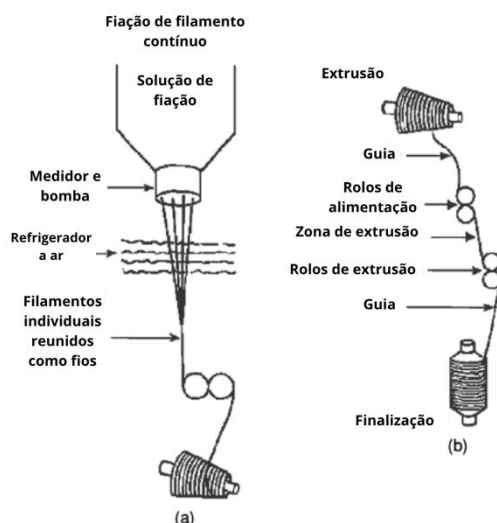
É importante destacar que, tanto a fabricação da fibra quanto a polimerização se beneficiam de longos períodos de produção ininterrupta. Contudo, sistemas totalmente dedicados carecem de flexibilidade. Uma parada por qualquer motivo na produção da fibra significa que a polimerização precisa também parar. O polímero derretido não pode ser mantido nos reatores, pois se degrada. Por esta razão, algumas cadeias de produção ainda preferem separar o processo de polimerização do de fiação, convertendo o polímero recém-formado em pequenos pedaços (pellets ou também chamados *chips*), que podem ser armazenados até que seja necessário utilizá-los, refundindo-os novamente (Richards, 2005).

2.1.3 Processo de estiramento da fibra

Os filamentos de poliamida, ao saírem da fieira, são em grande parte amorfos (molecularmente dispersos), o que significa que ainda não estão adequadamente cristalizados (molecularmente alinhados), ou seja, suas moléculas não estão suficientemente orientadas. Assim, devem ser estirados conforme necessário para desenvolver propriedades úteis para que então sejam utilizados em diversos empregos, notadamente têxteis (Bunsell, 2009).

O filamento é formado por extrusão pela fieira e passa por um conjunto de rolos de alimentação. Em seguida, ele avança para os rolos de tração, que rotacionam mais rápidos que os rolos de alimentação. Para usos finais em vestuário e carpetes, os fios de poliamida são trefilados (têm o seu diâmetro reduzido) a frio, enquanto para aplicações industriais de alta tenacidade os fios são aquecidos antes da trefilação (Mcintyre, 2004) (**Figura 4**).

Figura 4 – Processo de estiramento da fibra de poliamida



Fonte: Horrocks; Anand (2000), traduzido pela autora.

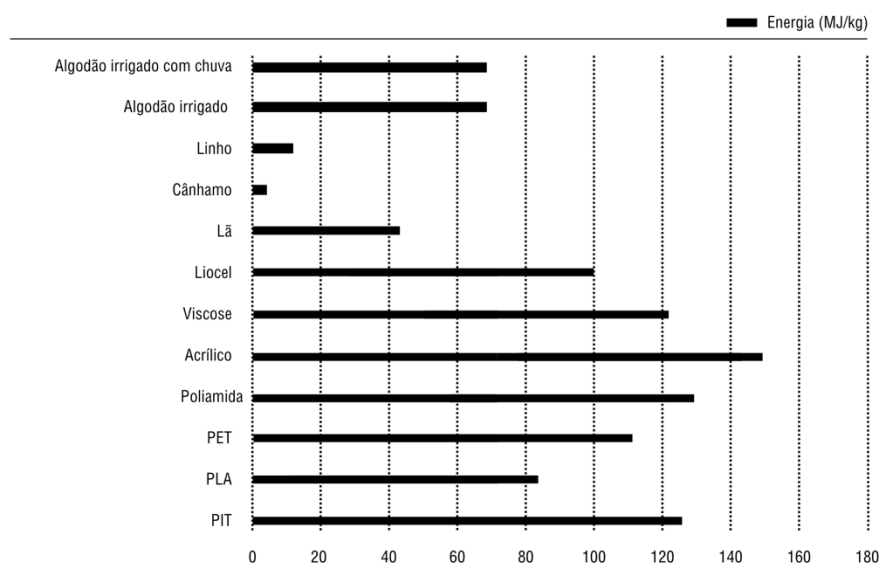
A trefilação da fibra fiada é realizada estirando o filamento entre 200 e 500% do seu comprimento original. Em princípio, os filamentos passam por um conjunto de rolos de alimentação a uma determinada velocidade e depois são puxados através de outro conjunto de rolos (normalmente chamado de rolos de tração) a uma velocidade entre duas e cinco vezes maior que a velocidade dos rolos de alimentação. A velocidade superficial entre os rolos de tração e os rolos de alimentação é chamada de “*draw ratio*”. O processo de estiramento facilita a orientação das moléculas da cadeia e melhora o processo de cristalização da fibra (Bunsell, 2009).

2.2 Aspectos sustentáveis da poliamida 6.6

Considera-se que a poliamida possui alguns aspectos similares ao poliéster por também ser de origem petroquímica, termoplástica e ser afetada pelos mesmos problemas ecológicos e de poluição associados à química do carbono. Seu processo de fabricação é conhecido por gastar muita energia: produzir 1 kg de poliamida consome 150 MJ, ou 41,667 kWh (comparado a 109 MJ – ou 30,278 kWh – por kg para o poliéster) (Figura 5). Seu processo de produção também emite óxido nitroso, um poderoso gás do efeito estufa (Fletcher, 2008).

Na **Figura 5**, é possível observar a diferença de gasto de energia na produção da poliamida em relação a outras fibras:

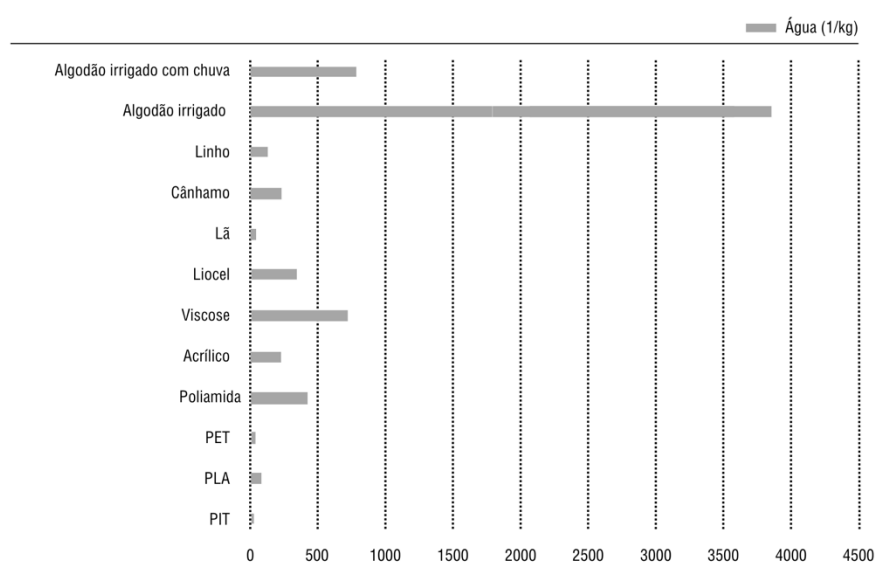
Figura 5 - Energia (MJ/kg) gasta na produção de diversas fibras têxteis



Fonte: Adaptado de (Fletcher; Grose, 2011).

Por outro lado, as fibras sintéticas derivadas do petróleo, como por exemplo **a poliamida, o acrílico e o poliéster (PET)**, demandam baixo consumo de água, mas elevado gasto energético — acima de 100 MJ/kg, como observado na **Figura 6**.

Figura 6 - Uso de água para a produção de diversas fibras têxteis



Fonte: Adaptado de (Fletcher; Grose, 2011).

Na **Figura 6**, pode-se comparar a quantidade de água gasta para a produção da fibra de poliamida em relação a outras fibras. A poliamida não é, entre as fibras indicadas, a que mais gasta água em sua produção. Consome menos água em sua

produção do que fibras como algodão, cânhamo, viscose e liocel.

Ainda, conforme se observa dos dados apresentados na **Figura 6**, o algodão irrigado apresenta o maior consumo hídrico entre todas as fibras analisadas, ultrapassando 4.000 L/kg. Isso evidencia a falta de sustentabilidade de seu cultivo sob sistemas intensivos de irrigação. Em contraste, o algodão irrigado com chuva apresenta desempenho significativamente melhor, com menos de 1.000 L/kg, indicando que práticas agrícolas adaptadas ao clima local podem reduzir substancialmente os impactos hídricos. No entanto, conforme dados apresentados na Figura 5, ambos os tipos de algodão apresentam consumo energético elevado, próximo de 100 MJ/kg, o que revela um impacto ambiental expressivo também nesse aspecto.

Ainda, conforme dados expressos nas Figuras 5 e 6, dentre as fibras vegetais, o cânhamo e o linho se destacam. O cânhamo apresenta baixo consumo tanto de água quanto de energia, configurando-se como uma das opções mais sustentáveis. O linho, embora com consumo energético um pouco mais elevado que o cânhamo, ainda mantém bons índices de eficiência hídrica. A lã, fibra de origem animal, apesar de sua baixa exigência hídrica, apresenta consumo energético relativamente alto. As fibras artificiais apresentam um comportamento contrastante. A viscose, derivada da celulose, possui alto consumo de água — superando inclusive o algodão irrigado com chuva — e consumo energético elevado, o que a torna menos vantajosa sob o ponto de vista da sustentabilidade. Por outro lado, o liocel, também de base celulósica, apresenta melhor desempenho hídrico e energético, sendo uma alternativa mais sustentável dentro dessa categoria.

2.3 Poliamida 6.6 biodegradável

As informações descritas a seguir foram obtidas em visitas técnicas à empresa Rhodia (Santo André, SP, Brasil), oriundas de documentos fornecidos pela empresa em materiais institucionais e entrevistas realizadas nos períodos de agosto e novembro de 2024 com colaboradores da empresa, além de pesquisas realizadas na internet no site da empresa (<https://www.solvay.com/pt-br/brazil>). A empresa não nos disponibilizou imagens da produção interna, assim como nenhum dado específico relacionado às propriedades de biodegradabilidade do tecido.

A poliamida 6.6 biodegradável é produzida pela Rhodia, empresa integrante do grupo Solvay. Começou a ser distribuída e fabricada no Brasil no ano de 2014 (Solvay, 2024). Segundo a empresa Fulgar (2024), distribuidora na Itália, foi demonstrado em laboratório, pela norma ASTM D5511 (2018) – “Biodegradação anaeróbica de materiais plásticos” – que o fio se decompõe em aproximadamente 5 anos quando descartado em condição de aterro sanitário, comparado a aproximadamente 50 anos no caso dos tecidos sintéticos em geral, além de reter em até 90% os microplásticos desprendidos na água durante a lavagem de peças feitas com têxteis constituídos desta poliamida. A produção apresenta um ciclo fechado que, em seu processo, coleta e recicla resíduos, água desperdiçada, material bruto (também encontrado na água) e reaproveitamento do calor que é gerado em algumas das fases de produção. Isso faz com que os padrões sustentáveis no ciclo industrial sejam mantidos (Solvay, 2024).

Chamada pela empresa de SoulEco, é mais vendida na Europa, e segundo o que foi dito durante as entrevistas, seria porque os consumidores no Brasil ainda não valorizam o produto sustentável tanto quanto na Europa, onde seu principal cliente é a França. Fora da Europa, o principal comprador é os Estados Unidos.

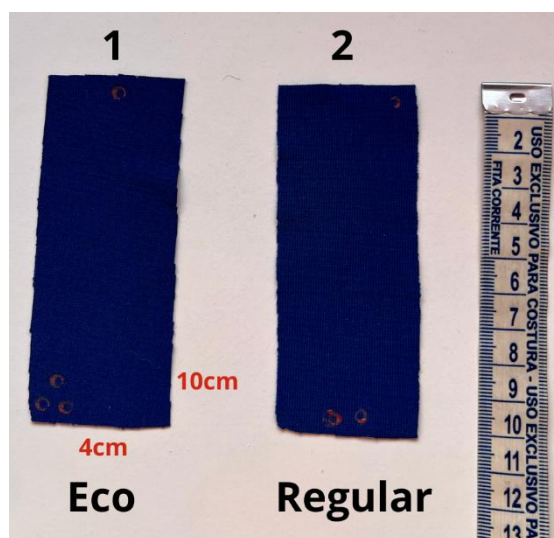
3. Materiais e Métodos

A empresa Rhodia forneceu os fios EcoBio (poliamida biodegradável) e a PA6.6 (poliamida regular), ambos 2x80F68. Em relação à nomenclatura do fio, é importante ressaltar que o “2 vezes”, que se localiza à frente do nome do fio 80F68, significa que durante o processo de texturização, dois fios 80F68 são unidos e retorcidos juntos. Assim, o fio resultante é um fio texturizado, com dois “cabos” (nome dado a cada um dos dois fios retorcidos juntos), com título total da ordem de 160 dtex (80 vezes 2) e 136 filamentos (68 vezes 2). Ressalta-se que 160 dtex significa que 10.000 metros do fio pesam 160 g.

Para a realização dos ensaios, a empresa Rhodia também confeccionou quatro peças tubulares na máquina de malharia circular Santoni SM8-8 TOP, 1162 agulhas, cilindro de 13 polegadas, com gauge de 28 agulhas por polegada, utilizando para a primeira peça o fio EcoBio (biodegradável) e, para a segunda peça, o fio PA6.6 (regular), ambos os fios com especificação 2x80F68 (como explicado no parágrafo

anterior). Duas outras peças tubulares (uma de poliamida 6.6 regular e outra de poliamida 6.6 biodegradável EcoBio) foram mantidas sem tingimento (cor branca). Outras duas peças tubulares (uma de poliamida 6.6 regular e outra de poliamida 6.6 biodegradável EcoBio) foram tingidas também pela empresa Rhodia com corante Nylosan Azul Marinho N-RBL (**Figura 7**).

Figura 7 – Malhas tingidas com Nylosan Azul Marinho N-RBL: (1) poliamida 6.6 biodegradável EcoBio e (2) poliamida 6.6 regular



Fonte: Autoria própria

3.1 Resistência à tração, tenacidade e carga de ruptura

Para testar as propriedades de resistência à tração, tenacidade e carga de ruptura dos fios de poliamida, foram utilizados fios de poliamida 6.6 regular e fios de poliamida 6.6 biodegradáveis em dinamômetro Instron, de acordo com as normas ISO 5079 (2020) e a norma ASTM D5034 (2021) – Método de teste padrão para resistência à tração das fibras têxteis. Os testes foram realizados no laboratório da Rhodia em Santo André. A **Equação 1** foi empregada para o cálculo dos valores de tenacidade.

Equação 1 – Cálculo de Tenacidade

$$\gamma = \frac{F}{T}$$

Onde:

γ =Tenacidade (cN/tex)

F= Carga de Ruptura (cN)

T=Título (tex)

Fonte: Adaptado de (Pinheiro, 2021)

3.2 Gramatura

Na determinação da gramatura, foi utilizada a norma ABNT NBR 1059 (2008) – Determinação de gramatura em superfícies têxteis. Cortaram-se cinco corpos de prova com tamanhos iguais (**Figura 7**), os quais foram climatizados. O período mínimo de climatização foi de 48 h, a 20 °C. Após a climatização, os corpos de prova foram pesados em balança analítica de 4 casas (Sartorius modelo ED124S, Alemanha) e a gramatura individual foi calculada (Cesa, 2017).

3.3 Regain

O método utilizado para a determinação do *regain* foi adaptado da norma ISO/TR 6741-4 (1987). A recuperação percentual da umidade (ou Regain) é definida como a porcentagem do valor do peso do material (após a climatização a 20°C e 65% da umidade relativa) menos valor do peso seco, sendo esse resultado dividido pelo valor do peso seco (**Equação 2**). Foram analisadas 5 amostras de cada tecido de poliamida 6.6 (regular e biodegradável), pesadas em balança analítica (Sartorius, modelo ED124S, Alemanha). A secagem foi realizada em uma estufa com circulação forçada de ar (Binder FD Modelo 115, Alemanha), a 70°C, por 24h ou mais até o peso constante. Em seguida, a amostra foi pesada novamente. Cinco repetições foram realizadas (Pennas *et al.*, 2020). O cálculo do regain foi realizado de acordo com a Equação 2.

Equação 2 – Cálculo de Regain

$$\text{Regain} = \frac{\text{peso original} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \cdot 100$$

Fonte: (Pennas et al., 2020)

3.4 FTIR com ATR

Para a realização do teste FTIR com ATR (Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier e Reflectância Total Atenuada), foi utilizado o equipamento Thermo (modelo Avatar 370 FTIR) com uma célula de refletância total atenuada (ATR)/Germânio (Ge) (Nicolet, EUA). A aquisição de dados foi realizada pelo software Omnic, versão 4.1, 2011.19 (Monteiro, 2016). Foram analisadas no total 7 amostras, uma para cada tipo de tecido de poliamida (vide **Tabela 3**). A norma utilizada foi a ASTM E1252 (2021) – Técnicas Gerais para Obtenção de Espectros de Infravermelho para Análise Qualitativa (Monteiro; Leonardi; Savastano Jr.; Baruque-Ramos, 2016).

4. Resultados

4.1 Resistência à tração, tenacidade e carga de ruptura

Para os ensaios de resistência à tração, tenacidade, carga de ruptura e alongamento de fibra, foram obtidos os seguintes resultados, de acordo com a **Tabela 2**.

Tabela 2 - Título, alongamento à ruptura e tenacidade dos fios de poliamida 6.6 e poliamida 6.6 biodegradável EcoBio (descritos em termos de média e desvio-padrão)

Parâmetros	Fio Poliamida 6.6 2x80F68	Fio Poliamida 6.6 Biodegradável Eco-Bio 2x80F68
Título	163 ± 4 dtex	165 ± 4 dtex
Alongamento à ruptura	30 ± 4 %	30 ± 4 %
Tenacidade	3,5 cN/dtex (≥ 3,0)	3,5 cN/dtex (≥ 3,0)

Fonte: Autoria Própria.

Pelos resultados na Tabela 2, observa-se que os dados são compatíveis com

os da literatura para poliamida 6.6 regular (**Tabela 1**), porém não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os dois tipos de fios analisados, através de teste “t” de Student com 5% de nível de significância.

4.2 Gramatura

Os resultados (expressos em termos de média e desvio-padrão) foram de 343 ± 4 g/m² para a poliamida 6.6 regular e média de 338 ± 2 g/m² para a poliamida 6.6 biodegradável (EcoBio). Assim, não foi observada diferença estatisticamente significativa entre ambos os valores obtidos. Apesar de a gramatura não estar associada diretamente com diferenças de propriedades dos dois materiais, evidencia-se que os dois tecidos de malha foram produzidos da maneira mais similar possível para que sua construção não pudesse interferir em qualquer outro resultado dos testes realizados.

4.3 Regain

Os resultados obtidos com o *regain* foram de média de 4,82% (desvio-padrão de 0,06%) para poliamida regular e média de 4,87% (desvio-padrão de 0,07%) para poliamida biodegradável. Esses valores não demonstram diferença significativa de regain entre os dois tecidos de poliamida 6.6. regular e poliamida 6.6 biodegradável (EcoBio).

4.4 FTIR com ATR

As legendas das diferentes amostras analisadas no FTIR com ATR de 4000 a 500 cm⁻¹ no equipamento Thermo (modelo Avatar 370 FT-IR) empregando a célula de ATR/germânio (Nicolet, EUA) são indicadas na **Tabela 3**.

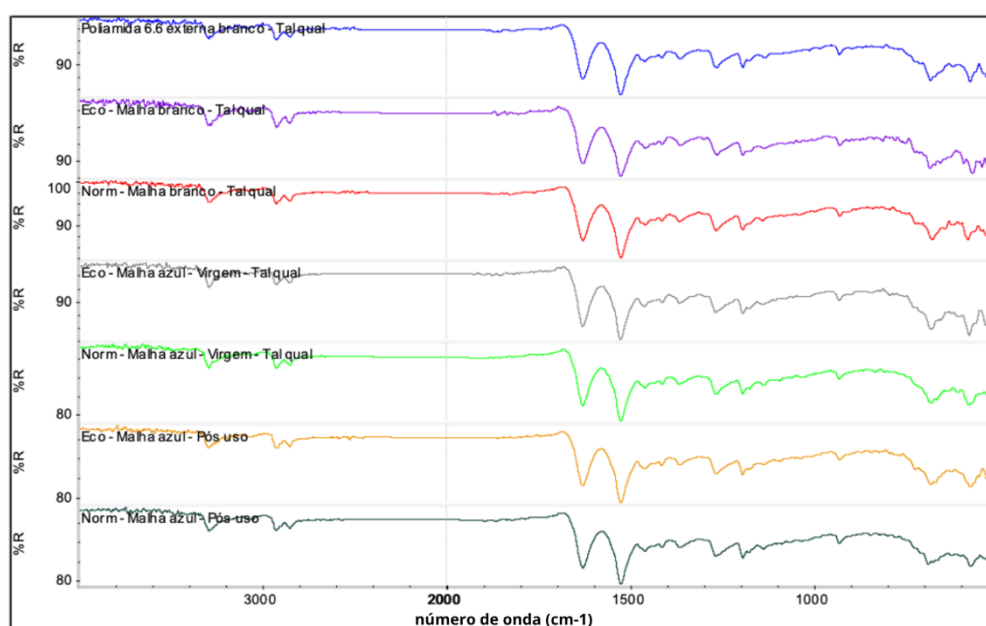
Tabela 3 - Legenda das amostras de poliamida utilizadas na aplicação do teste de ATR-FTIR.

Poliamida	Nome utilizado na análise
Poliamida 6.6 biodegradável sem uso branca	Eco – Malha branco – tal qual
Poliamida 6.6 regular sem uso branca	Norm – Malha Branco – tal qual
Poliamida 6.6 biodegradável sem uso azul	Eco – malha azul – virgem – tal qual
Poliamida 6.6 regular sem uso azul	Norm – malha azul – virgem – tal qual
Poliamida 6.6 biodegradável pós uso azul	Eco – malha azul – pós uso
Poliamida 6.6 regular pós uso azul	Norm – malha azul – pós uso
Poliamida 6.6 sem uso fornecida pela Golden Tecnologia	Poliamida 6.6. externa – tal qual

Fonte: Autoria própria.

O espectro das amostras (**Figura 8**) se mostrou semelhante, não havendo grandes alterações em nenhum dos testes, o que indica uma composição molecular bastante similar entre elas, incluindo as amostras biodegradáveis. Apesar de não se saber se há um aditivo específico que leve à biodegradabilidade, os resultados levam à hipótese de que o eventual composto ou elemento utilizado para que o tecido se biodegrade com mais facilidade (no caso da poliamida 6.6 biodegradável) esteja dentro da fibra e não na parte exterior dela, além de estar em concentração não passível de detecção por esta metodologia.

Figura 8 – ATR-FTIR das amostras de poliamida 6.6 conforme descrito na Tabela 3



Fonte: autoria própria

Por fim, ainda que não tenham sido realizados testes de biodegradabilidade para os materiais mencionados na Tabela 3 e Figura 8, cumpre ressaltar que a poliamida é testada para biodegradação em condições definidas pelas seguintes normas: (i) ASTM D5511 (2018) – Standard Test Method for the Determination of Anaerobic Biodegradation of Plastics Under High-solids Anaerobic Digestion Conditions (equivalente à ISO 15985 [2014]); e (ii) ASTM D6691 (2025) – Aerobic Biodegradation of Plastic Materials in Marine Environment (Solvay, 2025).

A ASTM D5511 (2018) é a norma mais amplamente utilizada para avaliação da biodegradabilidade anaeróbica de materiais plásticos. O método consiste basicamente no uso de um digestor de laboratório. A amostra é exposta a um inóculo obtido de um digestor anaeróbico, contendo uma alta concentração de microrganismos metanogênicos. Os volumes de metano e dióxido de carbono produzidos pelo processo de biodegradação são medidos com precisão e, comparando-os ao volume teórico, baseado no conteúdo de carbono do material, a porcentagem de biodegradação ao longo do tempo pode ser calculada. Esse método reproduz condições similares encontradas em aterros sanitários biologicamente ativos (Solvay, 2025).

A ASTM D6691 (2025) é a norma mais amplamente utilizada para avaliação de biodegradabilidade aeróbica de materiais plásticos em ambiente marinho. O método, que simula condições encontradas em ambientes marinhos, consiste em expor a amostra a um inóculo de vários microrganismos marinhos isolados ou amostra de água do mar natural com nutrientes inorgânicos. Um respirômetro é utilizado para medir o biogás total (dióxido de carbono) produzido em função do tempo. Comparando o volume de dióxido de carbono produzido pelo processo de biodegradação com o volume teórico, baseado no conteúdo de carbono do material, calcula-se a porcentagem de biodegradação ao longo do tempo (Solvay, 2025).

5 Considerações Finais e Conclusão

O presente estudo teve como objetivo analisar comparativamente a poliamida 6.6 regular e a poliamida 6.6 biodegradável, com foco em suas propriedades físico-químicas. Para isso, foram conduzidos testes laboratoriais com fios e tecidos de malha

produzidos com esses dois materiais, além da coleta de dados junto a profissionais da área.

Os resultados obtidos demonstraram que, sob as condições testadas, não foram identificadas diferenças relevantes entre os dois tipos de poliamida quanto ao desempenho técnico e às propriedades físico-químicas observadas. Ambas apresentaram comportamento semelhante durante os testes realizados, não havendo superioridade funcional de uma em relação à outra. Apesar disso, destaca-se que a principal distinção entre as fibras reside no comportamento ambiental pós-descarte, já que a sua versão biodegradável é projetada para se decompor mais rapidamente em condições específicas de aterro sanitário, característica que não foi possível verificar dentro do escopo deste estudo, uma vez que não foram realizados testes de biodegradação.

Do ponto de vista industrial, o uso da poliamida 6.6 biodegradável pode representar uma estratégia promissora no contexto da sustentabilidade, especialmente em cadeias produtivas comprometidas com a redução de impactos ambientais. No entanto, a ausência de diferenças técnicas significativas entre as fibras reforça a importância de avaliar com criticidade o discurso de inovação sustentável, considerando o ciclo de vida completo dos materiais, os contextos de descarte e as possíveis implicações para o consumidor final.

Como limitação deste trabalho, destaca-se a não realização das análises em ambientes controlados de degradação. Recomenda-se, portanto, que futuras pesquisas aprofundem os estudos de biodegradação em diferentes cenários ambientais, assim como investigações mais amplas sobre o impacto dessas fibras em fluxos de reciclagem, produção e logística reversa.

Em síntese, embora a poliamida 6.6 biodegradável não tenha demonstrado diferenças técnicas mensuráveis com relação à poliamida 6.6 regular neste estudo, seu potencial ambiental permanece como uma vertente relevante de investigação e desenvolvimento para a indústria têxtil contemporânea⁴.

⁴ Correção gramatical realizada por: Fernanda Gonçalves de Carvalho, Bacharela em Letras Portugues-Inglês pela Universidade de São Paulo (USP), 2012. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7076801901634811>. E-mail: fgcrevisao@gmail.com

Referências:

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 1059:2008 – Determinação de gramatura de superfícies têxteis**. Rio de Janeiro, 2008.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D5034-21 – Standard Test Method for Breaking Strength and Elongation of Textile Fabrics (Grab Test)**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2021.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D5511-18 – Standard Test Method for Determining Anaerobic Biodegradation of Plastic Materials Under High-Solids Anaerobic-Digestion Conditions**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D6691- Standard test method for determining aerobic biodegradation of plastic materials in the marine environment**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2025.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E1252-98 Standard Practice for General Techniques for Obtaining Infrared Spectra for Qualitative Analysis**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2021.
- BUNSELL, A. R. (ed.). **Handbook of tensile properties of textile and technical fibres**. 1. ed. Cambridge/New York: Woodhead Publishing and The Textile Institute, 2009. 696 p.
- CESA, F. S. **Microplásticos têxteis**: emissão de fibras sintéticas na lavagem doméstica. 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100133/tde-19102017-105403/>. Acesso em: 09 ago. 2025.
- FLETCHER, K. **Sustainable fashion and textiles**: design journeys. London: Earthscan, 2008. 239 p.
- FLETCHER, K.; GROSE, L. **Moda & sustentabilidade**: design para mudança. São Paulo: Senac, 2011. 192 p.
- FULGAR. **Amni SoulEco**. Disponível em: <https://www.fulgar.com/en/products/60/amni-soul-eco>. Acesso em: 11 mar. 2024.
- HORROCKS, A. RICHARD; ANAND, SUBHASH. **Handbook of technical textiles**. Boca Raton: CRC Press/Woodhead Publishing, 2000. 677 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 5079:2020 – Textile fibres**: determination of breaking force and elongation at break of individual fibres. Geneva, 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/TR 6741-4:1987 – Textiles: fibres and yarns – Determination of commercial mass of consignments – Part 4: Values used for the commercial allowances and the commercial moisture regains.** Geneva, 1987.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15985:2014 - Plastics — Determination of the ultimate anaerobic biodegradation under high-solids anaerobic-digestion conditions — Method by analysis of released biogás.** Genebra: ISO, 2014.

KOHAN, M.I. The history and development of Nylon-66. In **High Performance Polymers: Their Origin and Development.** Eds. Seymour RB and Kirshenbaum GS, Springer Netherlands, Dordrecht, 1986, pp. 19–37.

MCINTYRE, J. E. **Synthetic fibres:** nylon, polyester, acrylic, polyolefin. Cambridge: Woodhead Publishing, 2004. 308 p.

MONTEIRO, A. S. **Tucuri (Manicaria saccifera Gaerth.):** caracterização têxtil, processos e técnicas artesanais em comunidade local amazônica (PA-Brasil). 2016.

MONTEIRO, A. S.; LEONARDI, V.; SAVASTANO Jr., H.; BARUQUE-RAMOS, J. **Tucuri palm fibrous material (Manicaria saccifera Gaertn): characterization.** Green Materials, Cham: Springer Nature Switzerland, v. 3-4, p. 120-131, 2016.

OLIVEIRA, F. R. **Tingimento da poliamida 6.6 com corantes ácidos, reactivos e directos após modificação superficial com descarga plasmática de dupla barreira dieléctrica (DBD).** MS thesis. Universidade do Minho (Portugal), 2009. Disponível em: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/10790/1/teseMestrado_Fernando%20Oliveira_2009.pdf. Acesso em: 09 ago. 2025.

PENNAS, L. G. A.; LEONARDI, B.; NEVES, P. DAS; COELHO, L. S.; SAVASTANO JÚNIOR, H.; BARUQUE RAMOS, J. Amazonian tucum (*Astrocaryum chambira* Burret) leaf fiber and handcrafted yarn characterization. **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 2, p. 1-11, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2031-x>. Acesso em: 09 ago. 2025.

PINHEIRO, L. F. **Fibra de bananeira (Musa sp.):** processo de extração, beneficiamento e sua aplicabilidade em produtos têxteis. 2021. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100133/tde-04052021-193527/>. Acesso em: 09 ago. 2025.

RICHARDS, A. F. Nylon fibres. In: McIntYRE, J. E. (org.). **Synthetic fibres.** [s.l.]: Elsevier, 2005. pp. 20-94.

ROSA, J. M. Determinação da cinética de um tingimento em poliamida: um exemplo de como tomar ações preventivas. **Revista Química Têxtil**, v. 72, 2003.

SACCHI, M. C. G. P. **Estudo comparativo das propriedades físicas, químicas e de degradação de um fio de poliamida 6.6 biodegradável e convencional**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100133/tde-24112016-214625/>. Acesso em: 09 ago. 2025.

SACCHI, M. C. G. P.; MARCICANO, J. P. P.; VASCONCELOS, F. B. Biodegradable polyamide 6.6 for textile application. **Journal of Management and Sustainability**, v. 11, n. 2, p. 100-110, 2021.

SOLVAY. **Informação verbal sobre normas técnicas aplicáveis à degradação de poliamida**. São Paulo, 31 de jul. 2025.

SOLVAY. **Upgrade and specialization**. Disponível em: <https://www.solvay.com/en/our-company/history/2008-2018>. Acesso em: 11 mar. 2024.

TROSSARELLI, L. **The history of nylon**. Itália: Club Alpino Italiano, Centro Studi Materiali e Tecniche, www.caimateriali.org/index 2010.

Agência de pesquisa financiadora da pesquisa

Agradece-se o auxílio concedido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), o qual viabilizou o presente artigo.

Declaração de conflito de Interesses

Os autores declaram não ter conhecimento de conflitos de interesses financeiros ou relacionamentos pessoais que possam ter influenciado o trabalho relatado neste artigo.

Declaração de Contribuição dos Autores e Colaboradores (CRediT - Contributor Roles Taxonomy)

Os autores Júlia Escobosa, Julia Baruque e João Marcicano conceberam e planejaram o estudo; projetaram a metodologia e realizaram a coleta e análise dos dados; e participaram da redação e revisão final do manuscrito. Todos os autores aprovaram a versão final do resumo.

Materiais Suplementares

Todos os dados necessários para reproduzir os resultados estão contidos no próprio artigo.

Agradecimentos

À Escola de Artes Ciências e Humanidades (EACH) por viabilizar os estudos que resultaram neste artigo; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado e pelo apoio financeiro, o qual está sendo fundamental para a realização deste artigo, à Rhodia (Solvay), pelo apoio nas pesquisas e material fornecido, à Golden Technology pela disponibilização de seus laboratórios e pelo apoio técnico de seus especialistas Barbara Leonardi e Juliana Sandim.