

III-031 - AVALIAÇÃO DE DEGRADAÇÃO DE TECIDOS DE VESTUÁRIO EM CONTATO COM SOLO CONTROLADO

Aline Heloisa Rauh Harbs⁽¹⁾

Estudante de Engenharia Têxtil na UFSC.

Maryelza Wollinger Reche⁽²⁾

Estudante de Engenharia Têxtil na UFSC.

Grazyella Cristina Oliveira de Aguiar⁽³⁾

Bacharel em Design com habilitação em Design de Moda, pela UNIVALI. Mestre em Tecnologias da Inteligência e Design Digital e Doutora em Comunicação e Semiótica, ambas pela PUCSP. Professora no curso de Engenharia Têxtil da UFSC (Blumenau).

Ana Paula Serafini Immich Boemo⁽⁴⁾

Engenheira Química pela UFSM (universidade Federal de Santa Catarina). Mestre e Doutora em Engenharia Química pela UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina). Pós-Doutorado em Engenharia Química pela UPC (Universidade Politécnica da Catalunha - Espanha). Pós-Doutorado em Química pela USP (Universidade de São Paulo). Professora adjunta do curso de Engenharia Têxtil da UFSC - Campus Blumenau.

Catia Rosana Lange de Aguiar⁽⁵⁾

Engenheira Química pela FURB. Especialista em Processos Têxteis, Mestre e Doutora em Engenharia Química pela UFSC. Especialista em Administração de Produção pelo ICPG. Professora no curso de Engenharia Têxtil na UFSC (Blumenau).

Endereço⁽¹⁾: Rua João Pessoa, 2750 - Velha- Blumenau - SC - CEP: 89036-256 - Brasil - Tel: (47) 3232-5100
- e-mail: aline.heloisa@grad.ufsc.br

Endereço⁽²⁾: Rua João Pessoa, 2750 - Velha- Blumenau - SC - CEP: 89036-256 - Brasil - Tel: (47) 3232-5100
- e-mail: maryelza_reche@hotmail.com

Endereço⁽³⁾: Rua João Pessoa, 2750 - Velha- Blumenau - SC - CEP: 89036-256 - Brasil - Tel: (47) 3232-5100
- e-mail: grazyella.aguiar@ufsc.br

Endereço⁽⁴⁾: Rua João Pessoa, 2750 - Velha- Blumenau - SC - CEP: 89036-256 - Brasil - Tel: (47) 3232-5100
- e-mail: ana.immich@ufsc.br

Endereço⁽⁵⁾: Rua João Pessoa, 2750 - Velha- Blumenau - SC - CEP: 89036-256 - Brasil - Tel: (47) 3232-5100
- e-mail: catia.lange@ufsc.br

RESUMO

A indústria têxtil, que consome diariamente toneladas de matérias primas e insumos, é grande geradora de resíduos sólidos incluindo peças pós-uso, que não podem mais ser reutilizadas ou recicladas e, portanto, são destinadas a aterros sanitários, controlados ou não. Ações que prolongam o ciclo de vida de um produto têxtil visam atingir os requisitos de sustentabilidade ambiental e econômica, porém, infelizmente, reciclagem de peças têxteis se torna difícil pela presença de misturas de fibras nos tecidos, presença de aviamentos e linhas de costura, entre outros fatores, que fazem o envio de peças têxteis a aterros sanitários ainda mais comuns. Levando em conta estes fatores, o objetivo deste estudo é identificar através de pesquisa de mercado as diferentes fibras que compõem o vestuário, assim como suas estruturas, sua origem e a capacidade de degradação destas em contato com o solo. Para tal, foram escolhidas amostras de 100% algodão, algodão/elastano, 100% poliéster, poliéster/elastano, poliéster/algodão, 100% poliamida e viscose/elastano, todas em estruturas de malha e plano. Após a seleção de composições, foi realizada a análise de seu comportamento em contato com o solo, sendo realizado o controle de pH, temperatura e umidade do ambiente de teste. As amostras foram retiradas, lavadas e pesadas depois de 30, 45 e 60 dias em contato com o solo. Com base nos resultados, foi possível perceber que fibras de origem natural como o algodão e a viscose, sofreram degradação perceptível visualmente no período do teste. Já fibras de origem sintética, como poliéster, poliamida e adições de elastano, não sofreram degradação em contato com o solo. Isto se dá pela configuração molecular das fibras sintéticas e naturais, que possuem mais ou menos suscetibilidade ao ataque das bactérias presentes no solo. A partir do experimento, foi possível concluir que fibras de origem sintética precisam de um cuidado maior quando se trata de sua disposição final, procurando sempre alternativas de reuso ou reciclagem.

PALAVRAS-CHAVE: Degradação de tecidos, têxtil, sustentabilidade, resíduos sólidos.

INTRODUÇÃO

A indústria do vestuário apresenta grande relevância no cenário econômico nacional, fazendo parte da cadeia industrial têxtil, segunda maior empregadora do país. Esta indústria movimentou grande parte do cenário econômico no Brasil e também utiliza grande volume de matérias-primas e insumos, e como consequência também gera grandes volumes de resíduos sólidos. Os recursos naturais disponíveis no meio ambiente podem se esgotar caso não forem utilizados de maneira consciente (LEITE, 2009).

A geração de resíduos em empresas de confecção de moda e vestuário acontece diariamente (MCQUILLAN e RISSANEN, 2011), sendo a taxa de desperdício neste setor cerca de 15 %. Por este motivo, princípios e estratégias de sustentabilidade se tornaram vitais para empresas têxteis, mantendo a competitividade do mercado (SMITH, 2003).

O ciclo de vida de um artigo de vestuário é finalizado quando este não mais pode ser reciclado ou reutilizado e tem como fase final a disposição em solo, seja em aterros industriais ou sanitários, controlados ou não. Produtos têxteis possuem baixo índice de reciclagem por diversos fatores, dentre eles as diversas fibras que compõem o artigo (algodão, poliéster, etc.), como misturas íntimas, linhas de costura com composições diferentes, aviamentos. Por este motivo, a disposição destes materiais em solo ainda é uma prática comum. Partindo deste princípio, este estudo tem como objetivo identificar fibras têxteis e estruturas de tecidos que compõem o vestuário, e avaliar o comportamento destes artigos quando descartados no meio ambiente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Identificação das fibras mais utilizadas

A primeira etapa do desenvolvimento deste estudo teve como meta a identificação de fibras, composições e estruturas presentes nos artigos têxteis comercializados na região de Blumenau – SC, em produtos destinados ao inverno de 2016. A pesquisa foi realizada em lojas de diversas classes e de ambos os gêneros.

Degradação das fibras em solo

Após a identificação dos tecidos mais comercializados, estes foram adquiridos para análise de degradação em solo. As amostras de tecido, nas dimensões 10 x 10 cm, foram preparadas e pesadas. Estas amostras foram depositadas em um recipiente com uma mistura de 50 % de solo de jardim e 50 % de terra vegetal, esta última adquirida em casa agropecuária. Esta mistura foi utilizada para simular o meio de degradação de artigos têxteis, considerando a degradação em solo. Para isso, alguns parâmetros como temperatura, pH e umidade do solo foram controlados durante o processo, e as condições climáticas foram diariamente registradas. As amostras enterradas neste solo foram avaliadas após o período de 30, 45 e 60 dias, sendo pesadas em balança semi-analítica para a realização do cálculo da perda de massa de tecido degradada pelo solo. O processo de determinação da perda de massa dos tecidos selecionados foi baseada na norma ABNT; NBR 14238:1999, que versa sobre resíduos em solos: determinação da biodegradabilidade pelo método respirométrico. Para a determinação do percentual de degradação do tecido no solo foi aplicada a equação (1).

$$\text{Perda de Massa (\%)} = \frac{(W_0 - W_1)}{W_0} \times 100\% \quad \text{equação (1)}$$

onde:

W_0 = Massa Inicial; W_1 = Massa Final

Destinação final de resíduos

Considerando que alguns resíduos não terão rápida degradação no solo, sugere-se aplicar processos de customização nas peças de vestuário que seriam destinadas a lixões ou aterros industriais. Para esta etapa, foram coletadas algumas peças de vestuário não mais em uso e estas passaram por processos de transformação. Para a concretização dessa etapa do projeto, foi feita uma campanha para arredar peças que estavam guardadas no armário, em desuso. Algumas peças doadas foram customizadas tendo como linguagem estética as tendências de moda atuais. Foram pesquisados diferentes processos de customizações disponíveis em redes

sociais, blogs e sites da internet, para identificar os pontos de maior adesão das tendências pelo público. Premissas do ecodesign, conceito *slow fashion* e *upcycling* foram incorporados no redesign dos produtos¹.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa de campo visando à identificação das composições e estruturas de tecidos de vestuário comercializado na região de Blumenau – SC mostrou que as fibras mais utilizadas são 100 % algodão, mistura de algodão e elastano; mistura de viscose e elastano; 100 % poliéster; mistura de poliéster e elastano; mistura de 50 % poliéster e 50 % algodão e 100 % poliamida.

As estruturas de tecidos são igualmente distribuídas em malhas e tecidos planos, dependendo da aplicação da peça do vestuário. Nas amostras de tecido plano contendo elastano na composição, a quantidade de elastano é de 2 %, enquanto que nas amostras de malha, a quantidade de elastano varia de 4 a 8 %.

Ao final do período de 30, 45 e 60 dias, as amostras foram devidamente limpas e pesadas para a determinação do percentual de massa degradado. Na tabela 01 pode-se observar a perda de massa dos tecidos aplicados no estudo ao longo do período determinado.

Tabela 1: Perda de massa por degradação em solo dos tecidos em estudo

| | 100 % Poliéster | | 100 % Algodão | |
|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Estrutura | | Estrutura | |
| | Malha Massa (g) | Plano Massa (g) | Malha Massa (g) | Plano Massa (g) |
| Inicial | 1,38 | 0,92 | 1,50 | 1,09 |
| 30 dias | 1,38 | 0,92 | 1,42 | 0,76 |
| 45 dias | 1,38 | 0,91 | 0,47 | 0,38 |
| 60 dias | 1,37 | 0,91 | 0,35 | 0,32 |
| | 100 % Poliamida | | Poliéster/elastano | |
| | Estrutura | | Estrutura | |
| | Malha Massa (g) | Plano Massa (g) | Malha Massa (g) | Plano Massa (g) |
| Inicial | 1,26 | 0,41 | 3,48 | 2,18 |
| 30 dias | 1,24 | 0,39 | 3,48 | 2,18 |
| 45 dias | 1,24 | 0,40 | 3,46 | 2,17 |
| 60 dias | 1,23 | 0,41 | 3,45 | 2,17 |
| | Algodão/elastano | | Viscose/elastano | |
| | Estrutura | | Estrutura | |
| | Malha Massa (g) | Plano Massa (g) | Malha Massa (g) | Plano Massa (g) |
| Inicial | 3,13 | 2,67 | 1,74 | 1,35 |
| 30 dias | 2,60 | 1,41 | 1,14 | 0,82 |
| 45 dias | 1,95 | 0,82 | 0,30 | 0,05 |
| 60 dias | 1,55 | 0,61 | 0,26 | 0,05 |
| 50% Poliéster/50% algodão | | | | |
| | Estrutura | | Estrutura | |
| | Malha Massa (g) | Plano Massa (g) | Malha Massa (g) | Plano Massa (g) |
| | Malha Massa (g) | Plano Massa (g) | Malha Massa (g) | Plano Massa (g) |
| Inicial | 2,06 | 1,76 | 1,76 | 1,76 |
| 30 dias | 1,93 | 1,45 | 1,45 | 1,45 |
| 45 dias | 1,81 | 1,37 | 1,37 | 1,37 |
| 60 dias | 1,73 | 1,34 | 1,34 | 1,34 |

¹ Ecodesign: projetar produtos, serviços, processos que minimizem o impacto ambiental e amplie o ciclo de vida do produto. *Slow Fashion*: movimento que consagra o consumo e a criação de indumentárias de forma ética, sustentável e mais consciente. *Upcycling*: macro-tendência que consiste no reaproveitamento de resíduos e têxteis descartados na fabricação de novos produtos.

No período de 60 dias em que os tecidos ficaram em contato com o solo, a temperatura ambiente média foi de 20,29 °C, o pH medido do solo ao longo do período manteve-se constante em 7,0 e o peso do recipiente com o solo foi de 5,0 kg, sendo que quando este peso oscilava, era adicionado água para a reconstituição de sua umidade inicial.

Ao avaliar os resultados do comportamento dos tecidos em solo, percebeu-se que os tecidos cuja composição principal era à base de celulose, como é o caso dos tecidos de algodão, viscose e suas misturas, estes perderam grande quantidade de massa. O tecido com maior perda de massa foi o tecido plano misto de viscose com elastano, que apresentou perda de 96,3 % em massa, restando na sua composição somente parte do elastano. Também apresentaram relevantes perdas de massa o tecido de malha de viscose com elastano, com perda de 85,06 %, seguido do tecido plano de algodão com elastano, tecido de malha de 100% algodão e tecido plano de 100% algodão, com perdas de 85,06 %, 77,15 %, 76,67 % e 70,64 % respectivamente. Este resultado de degradação é decorrente da atividade das enzimas extracelulares, celulases, produzidas por fungos, bactérias e protozoários, que hidrolisam a celulose, fazendo a quebra da cadeia polimérica e consequentemente ocasionando sua decomposição.

O comparativo entre os tecidos de base celulósica antes e depois do período de degradação pode ser observado na Figura 1.



Figura 1: Comparativo entre os tecidos celulósicos antes e depois da degradação em solo. (a) Tecido plano de viscose/elastano; (b) Tecido de malha de viscose/elastano; (c) Tecido plano de algodão/elastano; (d) Tecido de malha de 100% algodão; (e) Tecido plano de 100% algodão.

Quando são observados os resultados de perda de massa dos tecidos sintéticos, ou seja, os tecidos de poliéster e poliamida, bem como as suas misturas, percebe-se que a perda de massa é mínima. Como existem estimativas de que os tecidos sintéticos de poliéster demorem mais de 100 anos para que degradem em solo, os resultados que apontam para uma leve degradação podem indicar erro de pesagem, variação de umidade ou no caso da

presença de elastano, uma leve degradação deste último elemento, que possui resistência menor, quando comparada as fibras de poliamida e de poliéster. Estes resultados podem ser observados na Figura 2.

Observou-se que a degradação máxima nas fibras sintéticas foi obtida no tecido de malha de 100 % poliamida, onde encontrou-se um valor de 2,3 8%. Este dado corrobora com fontes que sinalizam uma degradação de cordas de nylon em um período aproximado de 30 anos, de acordo com planetearthtree (2017, apud ambientebrasil.com.br).

Também foi possível notar que as fibras sintéticas não degradam bem nas condições do estudo, diferente das fibras celulósicas, que são consumidas rapidamente pela microbiota presente no solo. Esta diferença se dá pela estabilidade das moléculas frente a ataques biológicos. As fibras de poliéster e poliamida são de origem petroquímica, de cadeia longa, sem pontos frágeis para clivagem da molécula por hidrólise. O poliéster, por apresentar um arranjo altamente cristalino e ordenado, oferece muita resistência à absorção de umidade ou qualquer outro componente do meio. Sendo assim, permanece inerte aos ataques químicos e biológicos do meio de degradação, preservando sua estrutura por dezenas de anos. Para uma degradação eficiente do poliéster, enzimas hidrolíticas, principalmente esterases, poderiam ser utilizadas. O processo de hidrólise é o mais importante para iniciar a biodegradação de polímeros sintéticos (em especial os poliésteres) e que geralmente ocorre pela atuação de enzimas. A degradação completa de uma longa cadeia polimérica se dá em etapas, com a formação de oligômeros nas etapas iniciais, que podem, com um tempo consideravelmente mais longo de processo, ser hidrolisados às unidades monoméricas do polímero, que no caso dos poliésteres são, em sua maioria, ácidos carboxílicos, álcoois e hidroxiácidos (COSTA, 2014).

Como o poliéster, a poliamida é, também, um polímero de cadeia longa e insolúvel em água, o que dificulta o transporte do material polimérico diretamente para o interior das células dos microrganismos, onde ocorre a maioria dos processos bioquímicos. A degradação biológica e enzimática da poliamida é, portanto, iniciada na superfície, onde a enzima adequa-se sobre a conformação estereoquímica do polímero. Logo, as enzimas acabam sendo excretadas pelos micro-organismos e são conhecidas como despolimerases. As mais comuns são as hidrolases, que realizam a quebra de moléculas através da adição de água, e são responsáveis pela catálise da hidrólise de ligações C-N-C da poliamida e formando novamente o ácido carboxílico e a amina (NEVES, 2011). Entretanto, a degradação da poliamida é potencializada em meios de pH ácido, o que não foi o caso deste estudo (DORNA, 2016).

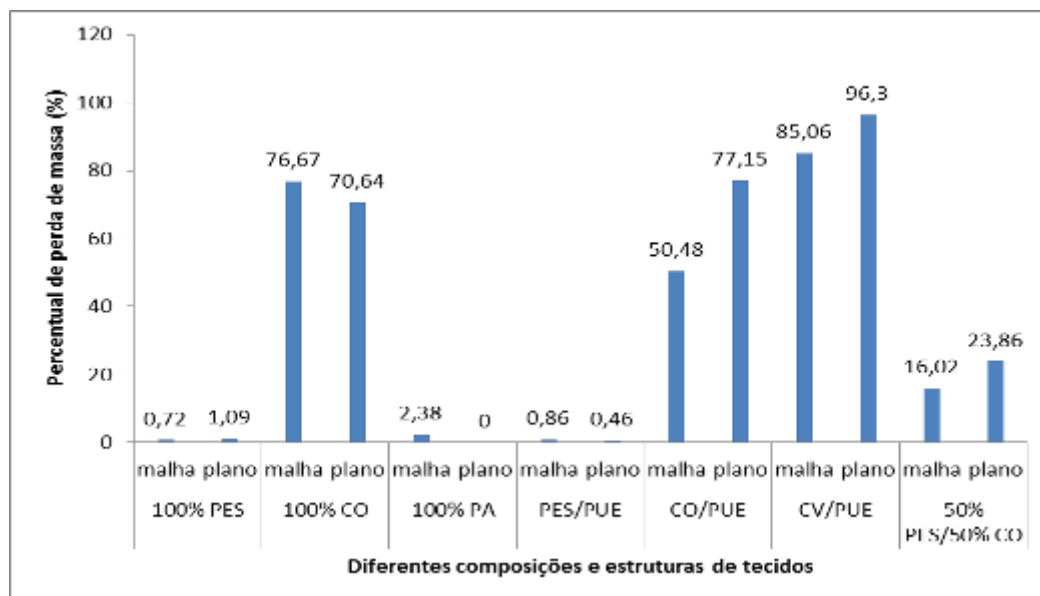


Figura 2: Resultados da eficiência de perda de massa de tecidos em solo

Quando se observa o resultado obtido na degradação dos tecidos mistos de 50% poliéster/50% algodão, é possível concluir, através da análise entre as fibras celulósicas e sintéticas, que a parcela que está sendo degradada é a de algodão, enquanto que a parcela sintética continua intacta. Considerando que no período de 60 dias a média de degradação dos tecidos de 100% algodão foi de 73,65%, era esperada uma degradação de

aproximadamente 36% da massa total, porém este resultado foi inferior, ou seja, 16,02% na malha e 23,86% no tecido plano. Como a mistura entre as fibras é íntima, ou seja, as fibras são misturadas no processo de fiação, a presença do poliéster dificulta o ataque das bactérias ao algodão, diminuindo a sua eficiência de degradação. Figura 3 apresenta um comparativo entre as fibras sintéticas, antes e após o processo de degradação.



Figura 3: Comparação entre os tecidos sintéticos antes e depois do ensaio de degradação em solo: (a) Tecido plano e malha de 100% Poliamida; (b) Tecido plano e malha de 100% Poliéster; (c) Tecido plano e malha de 50% algodão/50% poliéster.

Quando se observa o resultado obtido na degradação dos tecidos mistos de 50% poliéster/50% algodão, é possível concluir, através da análise entre as fibras celulósicas e sintéticas, que a parcela que está sendo degradada é a de algodão, enquanto que a parcela sintética continua intacta. Considerando que no período de 60 dias a média de degradação dos tecidos de 100% algodão foi de 73,65%, era esperada uma degradação de aproximadamente 36% da massa total, porém este resultado foi inferior, ou seja, 16,02% na malha e 23,86% no tecido plano. Como a mistura entre as fibras é íntima, ou seja, as fibras são misturadas no processo de fiação, a presença do poliéster inibe o ataque das bactérias ao algodão, diminuindo a sua eficiência de degradação. Figura 3 apresenta um comparativo entre as fibras sintéticas, antes e após o processo de degradação.

Após análise dos resultados da degradação dos tecidos, pesquisaram-se maneiras de reutilização de artigos têxteis. Buscou-se refletir sobre a real necessidade de se pensar no que fazer de concreto e útil para com produtos têxteis descartados, visando minimização da quantidade de resíduos sólidos que acabarão impactando na natureza de forma negativa. Dentre algumas das alternativas, está a reutilização dos mesmos, para confeccionar peças de vestuários, sem a necessidade de passar por processos de reciclagem, ou seja, direto para a reconstrução e remodelagem da peça. A Figura 4 evidencia algumas peças que foram doadas e customizadas:



a



b



a



b

Figura 4: Peças antes (a) e depois da customização (b).

Percebe-se que algumas peças de vestuário são descartadas e doadas por não possuírem uma linguagem estética vigente. A customização e a remodelagem de peças pode ser uma das formas de aumentar o ciclo de vida de alguns produtos. Ações simples e baratas que podem, de alguma forma, minimizar o descarte incorreto de têxteis, reduzir a produção de lixo e o impacto ambiental, diminuir processos e custos de modificação físico-química de um produto.

CONCLUSÕES

Os resultados do estudo mostram que os artigos têxteis produzidos a partir de fibras celulósicas, como algodão e viscose, sofrem um processo de degradação em solo acelerado, o que indica um baixo impacto ambiental, pois em 60 dias a amostra teve a massa de celulose totalmente degradada.

Quando os tecidos produzidos com as fibras sintéticas, poliéster e poliamida são avaliados, percebe-se que esta perda de massa praticamente não ocorre, indicando sua resistência na degradação por bactérias. Estes resultados indicam que estes artigos devem ser tratados de forma especial, através de informações e educação ao consumidor e produtor para que evite a disposição destes de forma desordenada após seu uso. Técnicas de reciclagem e reutilização merecem ser estudadas para que se evitem impactos negativos e significativos ao meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFSC pela bolsa Probolsa e ao laboratório de Beneficiamento (LABENE).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LEITE, P. R. Logística reversa: meio ambiente e competitividade. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
2. MCQUILLAN, H. Zero-waste pattern cutting process. 2010. Disponível em: <http://centerforpatternndesign.com/content/Zerowaste.pdf>. Acesso em: 12/abril/2015.
3. SMITH, N. C. Corporate social responsibility: whether or how? California Management Review 45, 1-25, 2003.
4. COSTA, C. Z.; ALBUQUERQUE, M. C. C.; BRUM, M. C.; CASTRO, A. M. *Degradação microbiológica e enzimática de polímeros: uma revisão*. *Química Nova*, v. 38, n. 2, p. 259-267, out 2015.
5. DORNA, M. Z. Estudo da degradação da poliamida 11 pela técnica de índice de fluidez (MFI). Rio de Janeiro, 2016. Monografia de graduação de Engenharia de Materiais – Universidade Federal do Rio de Janeiro / Escola Politécnica, 2016.
6. NEVES, A. A. Biodegradação de materiais poliméricos por fungos filamentosos. Presidente Prudente, 2011. Trabalho de conclusão em Engenharia Ambiental - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011.
7. <https://sites.google.com/site/planetearthtree/tempo-de-decomposicao-dos-principais-materiais>, acesso em 26/05/2017.