

AVALIAÇÃO DO PILLING EM MALHAS SUSTENTÁVEIS E CONVENCIONAIS: ANÁLISE SUBJETIVA E DIGITAL

PILLING ASSESSMENT OF SUSTAINABLE AND CONVENTIONAL KNITTED
FABRICS: SUBJECTIVE AND DIGITAL ANALYSIS

Engenharias • 03/07/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/782849145](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/782849145)

Alessandra Brandani Biggi¹

Sara Eduarda de Araújo da Silva²

Viviane Oliveira Soares³

Maria Renata Moraes⁴

Elaine Regina Brito Maia Mercial⁵

RESUMO

O pilling é um dos principais defeitos superficiais em materiais têxteis, comprometendo sua aparência e qualidade percebida. Este estudo avaliou a formação de pilling em malhas produzidas com diferentes composições fibrosas por meio de avaliação visual padronizada e análise digital automatizada. Foram analisadas nove amostras de meia malha distribuídas em três categorias: convencional (CO/PES), reciclada (CO/rPET) e desfibrada (CO/PET-DFS). Os ensaios foram realizados conforme a ISO 12945-2:2020, sendo a avaliação complementada por processamento digital de imagens no software ImageJ. As malhas produzidas com fibras desfibradas apresentaram as maiores áreas superficiais afetadas por pilling, seguidas pelas amostras contendo poliéster reciclado, enquanto os tecidos confeccionados com poliéster virgem apresentaram melhor desempenho superficial. Embora a avaliação visual tenha permitido a classificação geral das amostras, a análise digital mostrou maior sensibilidade para distinguir diferenças entre os materiais, possibilitando a quantificação objetiva do número de ocorrências de pilling e da porcentagem da área afetada. Conclui-se que a combinação entre métodos subjetivos e digitais proporciona uma avaliação mais confiável do pilling e que as características estruturais das fibras influenciam diretamente o desempenho superficial das malhas.

Palavras-chave: Pilling; malhas têxteis; sustentabilidade; análise digital; ImageJ.

ABSTRACT

Pilling is one of the main surface defects in textile materials, affecting their appearance and perceived quality. This study evaluated pilling in knitted fabrics with different fiber compositions using standardized visual assessment and automated digital

analysis. Nine single-jersey fabric samples classified into three categories were analyzed: conventional (CO/PES), recycled (CO/rPET), and defibrated (CO/PET-DFS). Tests followed ISO 12945-2 and were complemented by digital image processing in ImageJ. Fabrics with defibrated fibers showed the largest areas affected by pilling, followed by samples with recycled polyester. Fabrics made with virgin polyester had better surface performance. Visual assessment allowed general sample classification. However, digital analysis showed higher sensitivity in distinguishing sample differences. It enabled objective quantification of pilling occurrences and affected area percentage. Combining subjective and digital methods provided a more reliable evaluation of pilling. Fiber structural characteristics directly influence the surface performance of knitted fabric.

Keywords: Pilling; knitted fabrics; sustainability; digital analysis; ImageJ.

1. INTRODUÇÃO

A incorporação de matérias primas recicladas e reaproveitadas na indústria têxtil tem sido amplamente abordada na literatura científica como uma das principais estratégias para a redução de impactos ambientais associados ao consumo de recursos naturais e à geração de resíduos sólidos. Nesse contexto, o uso de poliéster reciclado obtido a partir de garrafas PET pós-consumo (rPET) e o reaproveitamento de resíduos têxteis por meio de processos mecânicos de desfibragem destacam-se como rotas tecnológicas relevantes para a reinserção de materiais secundários na cadeia produtiva, alinhando-se aos princípios da economia circular e da sustentabilidade industrial (FLETCHER, 2014; SHIRVANIMOGHADDAM et al., 2020; GENG et al., 2022).

Embora as matérias-primas recicladas e reaproveitadas apresentem benefícios ambientais relevantes, os processos de reciclagem mecânica e reprocessamento polimérico podem induzir alterações nas propriedades físico-mecânicas e estruturais das fibras, incluindo variações na massa molar, cristalinidade e uniformidade morfológica, o que impacta diretamente o desempenho dos materiais têxteis. No caso do poliéster reciclado (rPET), essas modificações são associadas principalmente ao histórico térmico e mecânico do processamento, que pode promover degradação parcial das cadeias poliméricas e alteração do comportamento do material sob solicitação mecânica (MAJUMDAR et al., 2020).

Essas alterações estruturais podem se refletir diretamente no desempenho superficial dos tecidos, sendo a resistência ao pilling um dos parâmetros mais sensíveis para a avaliação desse comportamento. Nesse contexto, a avaliação de pilling é tradicionalmente realizada por métodos normatizados baseados em comparação visual, como o descrito na ISO 12945-2:2020, que determina a propensão do tecido à formação de bolinhas, penugem ou emaranhamento na superfície.

Entretanto, a subjetividade inerente à interpretação do avaliador tem estimulado o desenvolvimento de métodos complementares fundamentados em processamento digital de imagens, capazes de fornecer resultados quantitativos, objetivos e reprodutíveis (ŽIVIČNJAK et al., 2026; CHEN et al., 2022).

Apesar do crescimento de estudos envolvendo materiais têxteis sustentáveis, observa-se que a literatura ainda apresenta abordagens fragmentadas quanto à avaliação do comportamento de pilling em malhas produzidas com diferentes composições

fibrosas, especialmente quando se associa a classificação visual normatizada a métodos instrumentais de quantificação baseados em processamento digital de imagens. Nesse cenário, técnicas de processamento digital de imagens têm sido amplamente empregadas como ferramentas complementares na avaliação de superfícies têxteis, permitindo a extração de parâmetros quantitativos relacionados à área, densidade e distribuição dos defeitos superficiais. Esses métodos reduzem a subjetividade associada às avaliações visuais normatizadas (ŽIVIČNJAK et al., 2026; CHEN et al., 2022; JASIŃSKA; STĘPIEŃ, 2014).

Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a propensão ao pilling de malhas confeccionadas com matérias-primas convencionais, recicladas e desfibradas por meio do ensaio normativo ISO 12945-2:2020 associado à análise digital utilizando o software ImageJ, visando comparar o desempenho superficial desses materiais e contribuir para o entendimento da influência da composição fibrosa na formação desse defeito.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

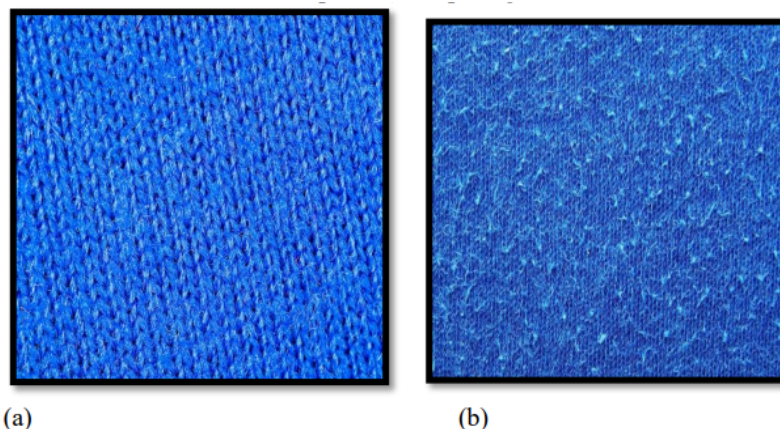
2.1. Pilling em Tecidos Têxteis

O pilling, conhecido popularmente como “bolinhas” nos tecidos, é um dos principais tipos de desgaste superficial observado em artigos têxteis, especialmente em malhas. Esse fenômeno afeta diretamente a aparência do material e pode comprometer a percepção de qualidade do produto pelo consumidor, mesmo quando suas propriedades mecânicas permanecem adequadas.

Sua formação está associada ao uso contínuo do tecido, principalmente pela ação do atrito durante o vestir, a movimentação

do corpo e os processos de lavagem, que promovem alterações progressivas na superfície do material. Inicialmente, o tecido apresenta uma estrutura relativamente uniforme, com fibras e fios organizados, porém, com a ação repetitiva das forças mecânicas, ocorre o desprendimento gradual de fibrilas das fibras principais, as quais permanecem parcialmente aderidas à estrutura têxtil, formando pilosidades superficiais. Na sequência, essas fibrilas livres passam a se entrelaçar sob efeito contínuo do atrito, originando pequenos aglomerados que, em estágios posteriores, tornam-se mais compactos e estáveis, resultando na formação das características “bolinhas” do pilling, conforme representado na Figura 1 (SAVILLE, 1999).

Figura 1. Representação do tecido (a) tecido sem formação de pilling; (b) tecido com presença de pilling.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A formação e a intensidade do pilling em materiais têxteis estão diretamente relacionadas às características estruturais das fibras e à arquitetura do tecido, sendo condicionadas por variáveis como comprimento e finura das fibras, nível de torção dos fios, densidade da construção têxtil e processos de acabamento (MALUF; KOLBE, 2023). Esses parâmetros são variáveis estruturais fundamentais para

a avaliação do comportamento superficial e do desempenho de tecidos em processos de controle de qualidade.

2.2. Fibras Têxteis: Convencionais, Recicladas e Desfibradas

A origem das fibras têxteis exerce influência direta tanto no desempenho físico dos tecidos quanto em seus impactos ambientais ao longo do ciclo de vida. Quanto à procedência da matéria-prima utilizada em sua produção, as fibras têxteis empregadas neste estudo podem ser agrupadas em convencionais, recicladas e reaproveitadas, categorias que apresentam diferenças nos processos de obtenção, nas características dos materiais e nos aspectos relacionados à sustentabilidade.

As fibras convencionais são produzidas a partir de matérias-primas virgens, provenientes de fontes petroquímicas, como o poliéster, ou de origem agrícola, como o algodão.

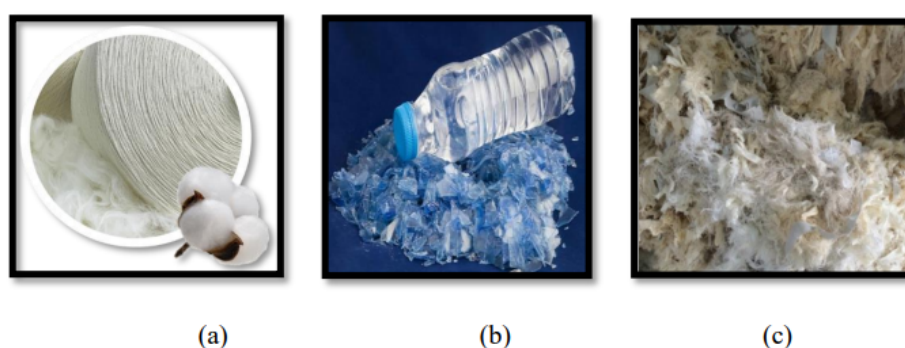
Diferentemente das fibras obtidas por processos de reciclagem ou reaproveitamento de resíduos pré e pós-consumo, sua produção depende da extração ou cultivo de recursos primários e envolve o emprego de energia, água e insumos químicos em diferentes etapas da cadeia produtiva, o que tem impulsionado o desenvolvimento de alternativas baseadas na reciclagem e no reaproveitamento de materiais têxteis, em consonância com os princípios da economia circular (FLETCHER, 2014).

Em contraste, as fibras recicladas são produzidas a partir da revalorização de materiais descartados, destacando-se o poliéster reciclado (rPET), obtido principalmente da reciclagem de garrafas PET pós-consumo. Essa rota produtiva tem sido amplamente empregada como alternativa ao uso de poliéster virgem,

favorecendo a reinserção de resíduos plásticos na cadeia produtiva e reduzindo a demanda por matérias-primas de origem fóssil (MAJUMDAR et al., 2020). Por sua vez, as fibras desfibradas (FDS) são obtidas a partir do reaproveitamento de resíduos têxteis, obtidos por ação mecânica (guarnições), os quais podem ser provenientes de fontes pré-consumo, como sobras industriais e resíduos de confecção, ou pós-consumo, como artigos têxteis descartados após sua vida útil. Nesse processo, os materiais são desagregados novamente em fibras para posterior reutilização na produção de novos produtos têxteis, promovendo a recuperação de materiais fibrosos e contribuindo para estratégias de economia circular no setor (SANDIN; PETERS, 2018).

A Figura 2 ilustra as três categorias de procedência das fibras empregadas neste estudo, compreendendo fibras convencionais, recicladas e reaproveitadas.

Figura 2. Representação das categorias de procedência das fibras têxteis (a) convencionais, (b) recicladas e (c) reaproveitadas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A comparação entre essas categorias evidencia diferenças relevantes no desempenho técnico dos materiais têxteis e em seu impacto ambiental, fatores determinantes na seleção de matérias-primas para aplicações industriais. Esse cenário reflete a reconfiguração das cadeias produtivas têxteis, impulsionada pela

crescente pressão por redução de impactos ambientais e pela incorporação de materiais alternativos e tecnologias de produção mais sustentáveis, progressivamente integradas aos sistemas produtivos.

3. METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória de abordagem quali-quantitativa, uma vez que a avaliação do material ocorreu de modo visual e com a utilização de recursos que permitiram a quantificação dos defeitos (AZEVEDO; ENSSLIN, 2020). Foram avaliados nove tecidos de malha de contextura meia malha, produzidos por fiação anel e fornecidos por uma indústria têxtil do estado do Paraná.

As amostras apresentam diferentes composições fibrosas, incluindo fibras convencionais, recicladas (rPET) e reaproveitadas provenientes de resíduos têxteis desfibrados (FDS), cujas características estruturais estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Ficha técnica dos tecidos

Tecido/Processo de Produção	Composição	Título (Ne)	Gramatura (g/m ²)	Densidade (cm)	
				Carreiras	Colun
1 Convencional	50% CO* 50% PES**	Ne 30	145,11	15	19
2 Convencional	50% CO 50% PES	Ne 30	137,72g	14	19
-	-	-	-	-	-

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/avaliacao-do-pilling-em-malhas-sustentaveis-e-convencionais-analise-subjetiva-e-digital?noblockage>

CO*: algodão; PES**: poliéster; rPET***: poliéster reciclado; FDS****: fibra desfiada

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Os ensaios de pilling foram conduzidos conforme a norma ISO 12945-2:2020, utilizando o abrasímetro Martindale, equipamento amplamente empregado na avaliação da tendência à formação de pilling em materiais têxteis.

Como material abrasivo, foi utilizado o próprio tecido da amostra, disposto nas bases superior e inferior do equipamento, configurando o método tecido contra tecido. Durante o ensaio, os corpos de prova foram submetidos a movimentos de fricção multidirecionais, os quais descrevem a trajetória conhecida como figura de Lissajous. Esse movimento favorece a distribuição homogênea da abrasão sobre a superfície do tecido, simulando condições de atrito semelhantes às de uso real e reduzindo a ocorrência de desgaste localizado.

Conforme a ISO 12945-2:2020, o número de ciclos de abrasão pode variar de acordo com as características do material e os objetivos do ensaio. Neste estudo, foram adotados 500 ciclos, valor amplamente utilizado em avaliações laboratoriais por permitir a formação adequada de pilling, possibilitando a diferenciação do desempenho das amostras sem comprometer excessivamente a estrutura têxtil. Embora a norma também contemple a avaliação de emaranhados e fiapos, esta pesquisa concentrou-se exclusivamente na análise do

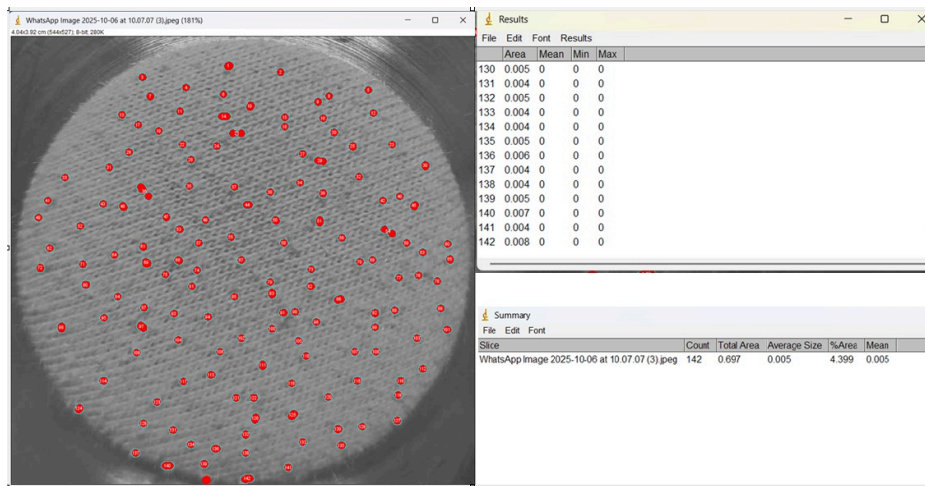
grau de pilling, por ser o parâmetro mais representativo da qualidade superficial de tecidos de malha.

Após a realização dos ciclos de abrasão, as amostras foram avaliadas por duas pessoas, por meio de duas abordagens complementares: uma análise visual subjetiva e uma análise objetiva, considerando as diferentes composições fibrosas.

A análise visual (subjetiva) consistiu na comparação direta das amostras com o padrão fotográfico de referência da ASTM D3512, permitindo a classificação do grau de pilling conforme os critérios da ISO 12945-2:2020, em uma escala de 1 a 5, na qual o valor 1 corresponde a pilling severo e o valor 5 indica ausência de alterações significativas na superfície do tecido.

De forma complementar, foi realizada análise digital (objetiva) utilizando o software ImageJ. As imagens das amostras foram convertidas para 8 bits e processadas para identificação e quantificação dos pontos de pilling. As regiões afetadas foram delimitadas com o uso da ferramenta “Pincel”. A espessura do traço foi ajustada entre 10 e 15 pixels, conforme as características dos defeitos observados em cada amostra, de modo a representar adequadamente a dimensão do pilling e assegurar maior precisão na delimitação das regiões afetadas, permitindo a determinação do número de defeitos e da porcentagem de área superficial comprometida, conforme exemplificado na Figura 3.

Figura 3. Amostra de tecido com identificação das regiões afetadas por pilling utilizando o software ImageJ.



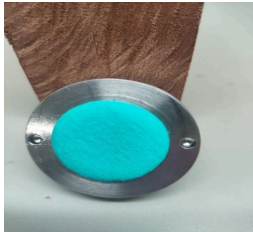
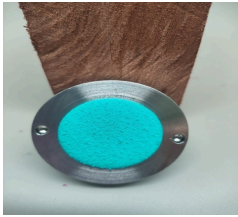
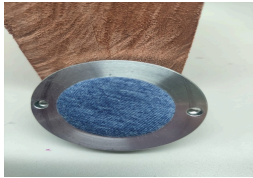
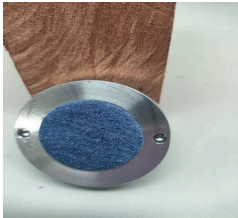
Fonte: Software ImageJ (2026).

4. RESULTADOS

4.1. Análise Visual Subjetiva com Base em Escala Padronizada

Os resultados da análise visual são apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4, contemplando as imagens das amostras antes e após o ensaio de pilling (500 ciclos), bem como a classificação do grau de pilling atribuída a cada tecido, conforme os critérios estabelecidos pela norma de referência.

Tabela 2. Grau de pilling dos tecidos convencionais

Tecido	Composição	Antes	500 ciclos	Grau de pilling
1	50% CO 50% PES			2 - Distinto
2	50% CO 50% PES			2 - Distinto

3	50% CO 50% PES			2 - Distinto
---	-------------------	--	---	--------------

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)





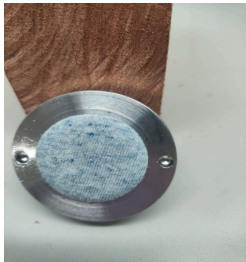
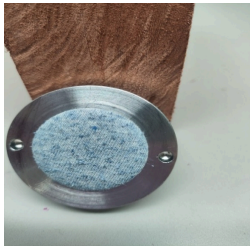
Tabela 3. Grau de pilling dos tecidos reciclados

Tecido	Composição	Antes	500 ciclos	Grau
4	50% CO 50% rPET			2 - Distinto
5	84% CO 16% rPET			2 - Distinto
6	50% CO 50% rPET			2 - Distinto

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Tabela 4. Grau de pilling dos tecidos desfibrados

Tecido	Composição	Antes	500 ciclos	Grau
--------	------------	-------	------------	------

7	72% CO 14% PES 14% FDS			1 - Severo
8	72% CO 14% PES 14% FDS			1 - Severo
9	72% CO 14% PES 14% FDS			1 - Severo

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Os tecidos convencionais (Tabela 2) e os tecidos contendo rPET (Tabela 3) apresentaram comportamento semelhante após 500 ciclos de abrasão, sendo todas as amostras classificadas com grau 2 de pilling. Esse resultado indica que a substituição do poliéster virgem por poliéster reciclado não promove alterações significativas no desempenho superficial dos tecidos sob as condições de ensaio avaliadas.

Em contrapartida, observa-se na Tabela 4 que os tecidos desfibrados (FDS), correspondentes às amostras 7, 8 e 9, apresentaram desempenho inferior, sendo classificados com grau 1 de pilling, caracterizado pela formação intensa e contínua de aglomerados fibrosos, com recobrimento praticamente total da superfície têxtil.

Esse comportamento está associado às alterações estruturais provocadas pelo processo de reciclagem mecânica e pela ação de atrito durante o uso, as quais tendem a reduzir a integridade das fibras e favorecer a liberação de fragmentos superficiais, intensificando a formação de pilling em tecidos submetidos ao desgaste mecânico (PALACIOS-MARÍN et al., 2022).

Adicionalmente, estudos recentes sobre reciclagem mecânica de fibras têxteis indicam que o processo de desfibragem promove degradação estrutural das fibras, com redução do comprimento médio, aumento da proporção de fibras curtas e maior heterogeneidade dimensional. Essas alterações comprometem a coesão interfibrilar e reduzem a resistência ao desgaste repetitivo, favorecendo o desprendimento de fibrilas sob ação de atrito e a consequente formação de pilling em tecidos submetidos à abrasão mecânica (PERSSON et al., 2026; RIBUL et al., 2021).

De forma geral, os resultados evidenciam que, embora o uso de fibras recicladas e reaproveitadas represente um avanço relevante sob a perspectiva da sustentabilidade e da economia circular, o processamento mecânico intensivo, especialmente associado às fibras desfibradas (FDS), pode comprometer propriedades superficiais dos tecidos, com maior suscetibilidade à formação de pilling. Observa-se, portanto, que alterações na estrutura fibrosa influenciam diretamente o comportamento frente ao desgaste por atrito, reforçando a necessidade de equilíbrio entre desempenho técnico e sustentabilidade no desenvolvimento de materiais têxteis.

4.2. Análise Objetiva da Quantidade e da Área de Pilling

Os resultados obtidos por meio do processamento digital das imagens dos tecidos no software ImageJ são apresentados na Tabela 5. A análise permitiu quantificar os defeitos de pilling identificados em cada amostra após o ensaio de abrasão.

Tabela 5. Quantificação dos defeitos de pilling obtida por análise digital de imagens utilizando o software ImageJ.

Composição	Convencional			Recicli	
	50% CO 50% PES	50% CO 50% PES	50% CO 50% PES	50% CO 50% rPET	84% C 16% rP
Quantidade de Pilling	142	142	144	166	166

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/avaliacao-do-pilling-em-malhas-sustentaveis-e-convencionais-analise-subjetiva-e-digital?noblockage>

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Os resultados obtidos por meio do processamento digital das imagens dos tecidos no software ImageJ são apresentados na Tabela 5. A análise permitiu quantificar os defeitos de pilling identificados em cada amostra após o ensaio de abrasão. Os tecidos convencionais apresentaram valores entre 142 e 144 defeitos, enquanto os tecidos contendo rPET registraram as maiores quantidades, variando de 166 a 167 defeitos. Já os tecidos desfibrados (FDS) apresentaram valores entre 139 e 156 defeitos.

Observa-se que os tecidos contendo rPET apresentaram a maior quantidade de defeitos de pilling, porém receberam classificação visual equivalente à dos tecidos convencionais (grau 2 –Tabela 3). Por outro lado, os tecidos desfibrados (FDS), embora não tenham apresentado o maior número de defeitos, foram classificados visualmente com grau 1 de pilling – Tabela 4. Esse resultado sugere que a intensidade visual do defeito não está relacionada exclusivamente à quantidade de aglomerados formados, mas também às suas características estruturais e dimensionais, como tamanho, densidade, distribuição e área superficial afetada.

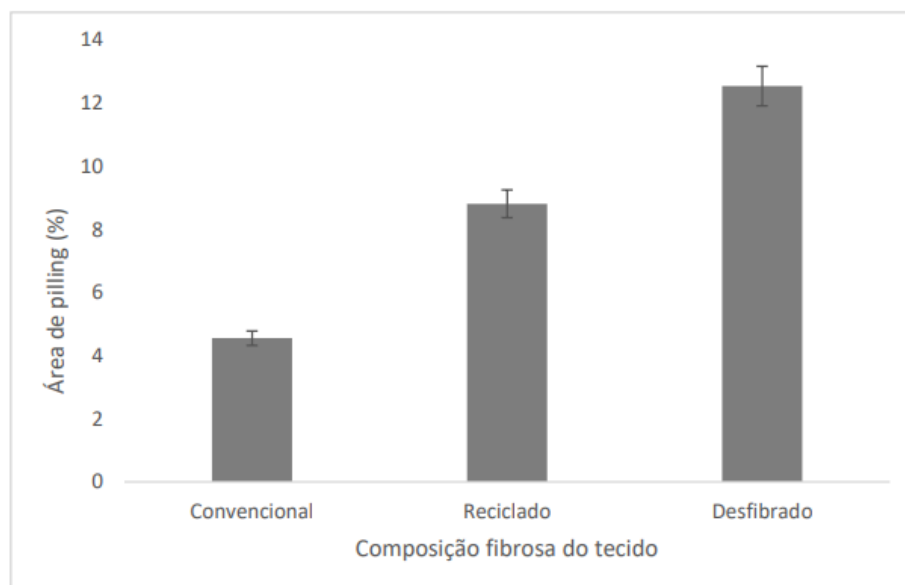
Resultados semelhantes foram relatados por ŽIVIČNJAK et al. (2026), que verificaram que parâmetros relacionados à área total coberta por pills apresentam maior correspondência com a percepção visual do pilling do que a simples contagem de aglomerados. Segundo os autores, a avaliação visual é influenciada não apenas pelo número de pills presentes na superfície, mas também pelo tamanho individual desses aglomerados e pela extensão da área ocupada por eles, fatores que determinam o impacto visual do defeito.

Dessa forma, os resultados obtidos indicam que a quantificação dos defeitos de pilling e a avaliação visual devem ser consideradas de forma complementar. Enquanto a análise digital fornece informações objetivas sobre a ocorrência dos defeitos, a avaliação visual incorpora aspectos relacionados à aparência superficial do tecido, permitindo uma caracterização mais abrangente do comportamento dos materiais frente ao desgaste por abrasão.

Os resultados da análise digital automatizada, realizada por meio do software ImageJ, referentes à porcentagem da área superficial afetada por pilling após o ensaio de abrasão, são apresentados no

Gráfico 1. Para fins de interpretação comparativa, os tecidos foram agrupados e analisados por tipo de composição fibrosa, sendo constituídos por fibras convencionais, recicladas e desfibradas. Dessa forma, o Gráfico 1 apresenta os valores médios de área afetada por pilling para cada uma dessas categorias, permitindo a avaliação do comportamento médio de cada grupo em relação à formação de pilling sob as condições de ensaio.

Gráfico 1. Área superficial média afetada por pilling (%) em função da composição fibrosa dos tecidos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Os resultados da análise digital da área superficial afetada por pilling, apresentados no Gráfico 1, evidenciam diferenças significativas entre os grupos de tecidos avaliados após 500 ciclos de abrasão. Os tecidos convencionais (50% CO/50% PES) apresentaram os menores percentuais de área afetada, variando entre 4,40% e 4,79%, o que indica menor comprometimento da integridade superficial e melhor estabilidade frente ao ensaio de desgaste.

Em contrapartida, os tecidos produzidos com fibras recicladas (rPET) apresentaram aumento na área afetada por pilling, com valores

entre 7,56% e 9,54% (Gráfico 1). Embora tenham sido classificados visualmente no mesmo grau de pilling dos tecidos convencionais (grau 2 – Tabela 2 e 3), a análise digital revela maior extensão dos defeitos na superfície, indicando diferenças quantitativas na intensidade do pilling não capturadas integralmente pela avaliação visual.

Ainda no Gráfico 1, observa-se que os maiores percentuais de área afetada foram registrados nos tecidos desfibrados (FDS), com valores entre 11,93% e 13,53%. Esses resultados estão em consonância com a avaliação visual (Tabela 4), na qual todas as amostras desse grupo foram classificadas com grau 1 de pilling (severo). O aumento da área comprometida indica não apenas maior ocorrência de aglomerados fibrosos, mas também maior extensão de cobertura desses defeitos na superfície têxtil, com impacto mais evidente na aparência do material.

Esse comportamento pode estar relacionado às alterações estruturais decorrentes do processo de reciclagem mecânica, que tende a gerar fibras mais curtas, heterogêneas e com menor coesão interfibrilar. Tais características favorecem o desprendimento de fibrilas durante o atrito e contribuem para a formação e permanência de aglomerados fibrosos na superfície do tecido (PALACIOS-MARÍN et al., 2022).

De modo geral, os resultados indicam que a porcentagem da área superficial afetada por pilling apresentou maior concordância com a avaliação visual do que a simples quantificação dos defeitos. Enquanto a contagem de ocorrências não diferenciou claramente os tecidos desfibrados dos demais grupos, a análise da área afetada permitiu identificar de forma mais precisa a intensidade do defeito e

o impacto do tipo de matéria-prima sobre o desempenho superficial dos tecidos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o proposto no estudo podemos afirmar que foi possível a realização do processo avaliativo da propensão à formação de pilling nos tecidos produzidos com material convencional, reciclado e desfibrado utilizando modelos complementares de avaliação, sendo estes: análise visual de modo subjetivo por padrão fotográfico e análise por método objetivo com a quantificação de pilling e de área superficial ocupada por materiais fibrosos provenientes do desgaste abrasivo.

A análise digital objetiva realizada por meio do software ImageJ permitiu uma caracterização mais detalhada do fenômeno de pilling, considerando tanto a quantidade de aglomerados quanto parâmetros associados à sua distribuição superficial. Os resultados indicaram que os tecidos contendo rPET apresentaram maior número de defeitos em comparação aos tecidos convencionais. No entanto, essa diferença não foi refletida na classificação visual, uma vez que ambos os grupos foram enquadrados no mesmo grau de pilling (grau 2).

Esse comportamento sugere que a avaliação visual baseada em escala padronizada está mais relacionada à percepção global do defeito do que à sua quantificação absoluta, sendo influenciada também por aspectos estruturais dos aglomerados, como tamanho, densidade e distribuição na superfície têxtil. Dessa forma, observa-se que os dois métodos apresentam naturezas complementares, sendo

a análise digital mais sensível à variação quantitativa e a avaliação visual mais representativa do impacto aparente do defeito.

Por outro lado, a análise da área afetada por pilling mostrou-se mais consistente com a avaliação visual, especialmente no caso dos tecidos desfibrados, os quais apresentaram simultaneamente maior extensão de área comprometida e pior classificação de desempenho. Esses resultados indicam que parâmetros estruturais associados ao tamanho e à distribuição dos aglomerados exercem influência significativa na percepção do defeito, sendo a área superficial um indicador mais sensível do que a simples contagem de ocorrências.

De forma geral, os resultados demonstram que a avaliação do pilling baseada exclusivamente em escala visual pode não ser suficiente para capturar variações quantitativas relevantes entre diferentes composições têxteis. A combinação entre análise subjetiva e métodos digitais, como o processamento de imagens, mostrou-se mais adequada para a caracterização do comportamento dos tecidos sob abrasão.

Conclui-se que, embora o uso de fibras recicladas represente uma alternativa sustentável relevante, sua incorporação, bem como o processamento por desfibragem mecânica, pode influenciar significativamente o desempenho superficial dos tecidos, especialmente no que se refere à extensão da área afetada por pilling. Assim, destaca-se a importância do equilíbrio entre sustentabilidade e desempenho técnico no desenvolvimento de materiais têxteis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 12945-2: Textiles — Determination of fabric propensity to surface fuzzing and to pilling — Part 2: Modified Martindale method. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D3512-22: Standard Test Method for Pilling Resistance and Other Related Surface Changes of Textile Fabrics: Random Tumble Pilling Tester. West Conshohocken: ASTM International, 2022.

AZEVEDO, R. C.; ENSSLIN, L. Metodologia da pesquisa para engenharias. Florianópolis: PPGEC/CEFET, 2020.

CHEN, Hanqi; LI, Yuchen; WANG, Xinyu; ZHANG, Wei; LI, Minghui.

An objective fabric pilling evaluation based on wavelet transform and Gabor filter. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, v. 17, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/15589250221108728>. Acesso em: 03 mar. 2026.

FLETCHER, Kate. *Sustainable fashion and textiles: design journeys*. 2. ed. London: Routledge, 2014.

GENG, Yong; FU, Jie; SARKIS, Joseph; XUE, Bin. Towards a circular economy: a bibliometric review and research agenda. *Journal of Cleaner Production*, v. 302, p. 126966, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126966>. Acesso em: 21 jun. 2026.

IMAGEJ. *Image Processing and Analysis in Java*. National Institutes of Health. Bethesda, MD, USA. Disponível em: <https://imagej.nih.gov/ij/>. Acesso em: 3 jun. 2026.

JASIŃSKA, Izabela; STĘPIEŃ, Zbigniew. An alternative instrumental method for fabric pilling evaluation based on computer image analysis. *Textile Research Journal*, v. 84, n. 5, p. 488–499, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0040517513512398>. Acesso em: 11 jun. 2026.

MAJUMDAR, Abhijit; SHUKLA, Sandeep; SINGH, Anshu Anjali; ARORA, Sanchi. Circular fashion: properties of fabrics made from mechanically recycled poly(ethylene terephthalate) (PET) bottles. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 161, p. 104915, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104915>. Acesso em: 04 jun. 2026.

MALUF, J.; KOLBE, H. *Dados técnicos para a indústria têxtil*. São Paulo: IPT, 2023.

PALACIOS-MARÍN, Ana Victoria; DE FALCO, Francesca; VOLLRATH, Franz; GENTILE, Giovanna. Fragmented fiber pollution from common textile materials during laundry. *Textile Research Journal*, Thousand Oaks, v. 93, n. 15-16, p. 3204-3218, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/00405175221090971>. Acesso em: 03 mar. 2026.

PERSSON, Malin; WEDBERG, Helena; SKOGBERG, Emil; KLEIN, Michael; HULTMAN, Johan. Mechanically recycled textiles: a source of microplastic fiber emissions. *Environmental Science & Technology*, Washington, DC, v. 60, n. 2, p. 1810–1818, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5c14973>. Acesso em: 03 mar. 2026.

RIBUL, Miriam; DELGADO, Andrea; HUNT, Alexander J.; MCGUINNESS, Ciarán; MORRIS, James. Moving towards circular textile recycling: challenges and opportunities. *Journal of Cleaner*

Production, Amsterdam, v. 283, p. 129325, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129325>. Acesso em: 03 mar. 2026.

SANDIN, Gustav; PETERS, Greg M. Environmental impact of textile reuse and recycling – A review. Journal of Cleaner Production, v. 184, p. 353–365, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.266>. Acesso em: 12 jun. 2026.

SAVILLE, B. P. Physical testing of textiles. Cambridge: Woodhead Publishing, 1999.

SHIRVANIMOGHADDAM, Mohammadreza et al. Carbon fiber and its composites recycling: review. Journal of Cleaner Production, v. 261, p. 121102, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121102>. Acesso em: 20 jun. 2026.

ŽIVIČNJAK, Juro; TOMLJENVIĆ, Antoneta; ZJAKIĆ, Igor. Innovative approach to textile pilling assessment using uniform digital imaging. Fibers, v. 14, n. 2, p. 21, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/fib14020021>. Acesso em: 03 mar. 2026.

¹ Graduação na área de Engenharia Têxtil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM) (2006). Possui Especialização na área de Docência no Ensino Superior pelo Centro Universitário de Maringá (CESUMAR) (2010). Possui mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (2013). Possui Doutorado em Engenharia Têxtil pela Universidade do Minho (2018). É Professora Adjunta Tide na Universidade Estadual de Maringá (UEM) no curso de Engenharia Têxtil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

² Graduada no Curso Superior em Engenharia Têxtil da Universidade Estadual de Maringá Campus Regional de Goioerê E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

³ Bacharel em Física com ênfase em Física Aplicada: Ciências dos Materiais, pela Universidade Federal de Ouro Preto (2005). Possui mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar (2007). Possui doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar (2010). Estagiou no Instituto de Cerâmica y Vidrio (ICV) do Consejo Superior de Investigaciones Científicas - CSIC - Madrid - Espanha. Atualmente é professora adjunta do Departamento de Ciências da Universidade Estadual de Maringá - UEM, ministrando disciplinas para o curso de licenciatura em física. Tem experiência na área de Engenharia de Materiais, com ênfase em Materiais Cerâmicos. Atua principalmente nos seguintes temas: vidros, vitrocerâmicas, sinterização, cristalização e propriedades mecânicas. Docente do Curso Superior de Licenciatura em Física da Universidade Estadual de Maringá Campus Regional de Goioerê E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁴ Graduação na área de Engenharia Têxtil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM) (2003). Especialização na área de Docência no Ensino Superior pelo Centro Universitário de Maringá (CESUMAR) (2008). Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (2013). Doutorado em Engenharia Têxtil pela Universidade do Minho (2017) com revalidação do diploma estrangeiro de Doutorado (2018) pela Universidade Estadual de Maringá na área de Doutorado em Engenharia Química. É Professora Associada Tide na Universidade Estadual de Maringá (UEM) no curso de Engenharia Têxtil. Chefe do Departamento de

Engenharia Têxtil da Universidade Estadual de Maringá (Gestão 2022-2024 e 2024-2026). E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁵ Graduação em Engenharia Têxtil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM) (2003). Campus Regional de Goioerê. Atualmente é professora adjunto da Universidade Estadual de Maringá. Especialização em MBA em Gestão de Recursos Humanos (UNINTER) Mestrado em Engenharia Química (UEM). Doutorado em Engenharia Têxtil pela Universidade do Minho (Portugal). E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)