

## ESTUDO COMPARATIVO DO IMPACTO AMBIENTAL DA PRODUÇÃO TÊXTIL DE JEANS CO/PET CONVENCIONAL E DE JEANS CO/PET RECICLADO

Luciana dos Santos Duarte, santosduarte.luciana@gmail.com<sup>1</sup>

Raoni Guerra Lucas Rajão, rajao@ufmg.br<sup>2</sup>

Paulo Eustáquio de Faria, paulofaria@ufmg.br<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculdades Kennedy, R. José Dias Vieira, 46, Rio Branco, Belo Horizonte – MG – CEP 31.535-040

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Campus Pampulha, Belo Horizonte – MG – CEP 31.270-901

**Resumo:** O jeans é um material central na cultura humana. Visando a redução do impacto ambiental deste tecido, jeans de fibras mistas de algodão e poliéster reciclados têm sido ofertados como alternativa ambientalmente sustentável em relação ao jeans CO/PET convencional. Ambos os jeans são avaliados neste trabalho, quanto ao impacto ambiental na produção têxtil. Para tanto, fundamenta-se na ACV das fibras de algodão e poliéster e em dados sobre os processos produtivos de cada um dos jeans. Ao final, são comparados os procedimentos de manufatura do jeans CO/PET convencional e do jeans CO/PET reciclado, visando avaliar o impacto ambiental da produção de ambos os jeans. Considerando os parâmetros que puderam ser avaliados quanto à obtenção das fibras, o jeans reciclado apresenta menor impacto ambiental que o jeans CO/PET convencional, pois elimina as etapas de plantação de algodão (e respectivo grande volume de água, pesticidas e fertilizantes associados à mesma) e de consumo de materiais para produção do poliéster, sendo em si um processo de reciclagem. Já na manufatura dos fios, enquanto no jeans reciclado é fiado apenas um tipo de fio (uma blenda de algodão e poliéster), para o jeans convencional são fiados dois tipos de fio (o de fibras de poliéster e o de fibras de algodão), somando-se ao processo produtivo ainda a higienização dos fios, tingimento de índigo no fio de algodão e engomagem. Com relação à manufatura dos tecidos propriamente, conclui-se que o jeans reciclado, em detrimento do jeans CO/PET convencional, é vantajoso por utilizar menos processos produtivos e por reduzir o uso de água, assim como respectivos insumos químicos que ela transporta na produção têxtil tradicional.

**Palavras-chave:** Jeans reciclado, produção têxtil, fibras têxteis recicladas, reciclagem têxtil

### 1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil enfrenta uma condição desafiadora no campo da qualidade e da produtividade. Conforme os parâmetros ecológicos têm se tornado mais rigorosos e altamente competitivos, surgiu uma preocupação da indústria têxtil com relação à necessidade de conjugar a qualidade e a ecologia conjuntamente (Bota e Ratiu, 2008). Pode-se dizer que a sustentabilidade (Sachs, 1993) é possivelmente a maior crítica que a cadeia têxtil e de confecções (TC) já enfrentou, pois desafia a moda em seus detalhes (fibras e processos) e também com relação ao todo (modelos econômicos, metas, regras, sistemas de crenças e valores) (Fletcher e Grose, 2011). No que concerne ao setor têxtil, a produção e o produto têxteis são relacionados com o paradigma da sustentabilidade ambiental em vários estudos científicos (Abreu *et al*, 2008; Coman *et al*, 2011; Fletcher e Grose, 2011; Kalliala e Nousiainen, 1999; Leão *et al*, 2002; Martins, 1997; Souza, 2000; Rusu, 2010), para os quais este trabalho busca contribuir.

No rol dos produtos têxteis mais manejados pelo homem, encontra-se o jeans, material vestido por um terço da humanidade (Catoira, 2006). Estima-se o consumo mundial do denim acima de três bilhões de metros lineares por ano, sendo os principais consumidores os Estados Unidos, a Europa e o Japão, representando juntos mais de 65% do consumo mundial (Abit, 2012). A centralidade do jeans na cultura material, somada à sua respectiva portentosa produção destinada a suprir demandas mundiais de vestuário, produz um rebatimento em diversas cadeias produtivas, da cotonicultura e petroquímica, passando pelas de maquinário e confecções, até chegar às de reciclagem de resíduos têxteis e poliméricos.

## 1.1. Reciclagem

Desde 1980, os consumidores têm sido encorajados a reciclar os resíduos, como papeis, latas, garrafas plásticas, vidros, pneus. Todavia a reciclagem de vestuário só passou a ser considerada como fundamental ao meio ambiente em meados dos anos 1990 (Chang *et al.*, 1999). A reciclagem pode ser definida como sendo o processo de coletar produtos, componentes e/ou materiais, desmontá-los (quando necessário), separá-los em categorias de materiais (como plásticos específicos, vidros, etc.) e processá-los em produtos, componentes e/ou materiais reciclados (Beamon, 1999). No conjunto dos tipos de reciclagem, a reciclagem mecânica tem sido identificada como a rota de recuperação mais adequada para fluxos de resíduos de plásticos relativamente limpos e homogêneos. Ela inclui os processos de separação, higienização, moagem, refusão e transformação de resíduos (Vilaplana e Karlsson, 2008).

Segundo Chang *et al.* (1999), a reciclagem de resíduos têxteis de pós-consumo (ex. roupas usadas) não só pode economizar espaço em aterros sanitários, mas também conservar recursos ao transformá-las em novos produtos de valor em vários mercados. Além disso, de acordo com John e Zordan (2001), a reciclagem de resíduos (ex. resíduos têxteis industriais) para utilizá-los como matéria-prima é uma ferramenta importante na preservação dos recursos naturais e, muitas vezes, reduz o consumo de energia.

No que tange os produtos de vestuário, a reciclagem de polímeros é bastante representativa. Segundo Leite (2009), de todo o volume coletado de poliéster (que, junto ao poliestireno, corresponde a 20% do total de consumo de polímeros no Brasil), 43% são destinados para áreas denominadas têxteis (34% tecidos, 7% cordas e 2% monofilamentos para vassouras), 16% do mercado utiliza reciclados para fabricação de resina de fibreglass, 11% em produtos de termoformagem e o restante em tubos, fitas de arquear e embalagens diversas.

Além da reciclagem de plásticos, como o poliéster, outro importante programa de reciclagem é o de resíduos de tecidos, porque pode implicar na redução do plantio de algodão, o que, por consequência, economiza água e fertilizantes químicos normalmente requeridos no crescimento do algodão (Chang *et al.*, 1999). Todavia a maioria das fibras recicladas é usada mais em tecidos não-tecidos (TNT), formados por fibras desorientadas e compactadas por meio mecânico, com ou sem adição de produto químico, formando uma lâmina contínua (Pezzolo, 2007), que usada na tecelagem de novos têxteis. Isso se deve ao fato de a produção de não-tecidos requerer menos trabalho, equipamentos, tempo e dinheiro que a produção de novos produtos em outros tipos de tecido.

Conforme Chang *et al.* (1999), a escolha das aplicações possíveis para produtos de fibras recicladas deve seguir os seguintes princípios:

1. As características de desempenho dos produtos não serão sacrificadas;
2. O preço será competitivo;
3. O reprocessamento não é necessário (ex. limpeza, tingimento, acabamento), exceto para trituração em fibras.

Em suma, para Vilaplana e Karlsson (2008), há uma clara necessidade de introduzir um conceito de qualidade nas atividades de reciclagem, para avaliar as propriedades dos reciclados dentro de tolerâncias estreitas, assim satisfazendo os requisitos tanto dos produtores quanto dos consumidores, e garantindo a performance dos produtos reciclados nas suas aplicações no mercado secundário.

## 1.2. Impacto Ambiental da Produção de Jeans

Facilitando uma resposta contínua às novas situações a que a empresa se expõe (Selig *et al.*, 2008) e buscando mudar o paradigma de se pensar em minimizar o impacto ambiental da produção após os produtos terem sido feitos, ou seja, no fim-do-tubo (*end-of-pipe*), a Produção Mais Limpa (P+L) é a aplicação contínua de uma estratégia ambiental integrada e preventiva para processos e produtos (Medeiros *et al.*, 2007). A P+L tem como finalidade aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, pela não geração, pela minimização ou pela reciclagem de resíduos, com benefícios ambientais, econômicos e de saúde ocupacional (Moura, 2005).

Semelhantemente às boas práticas de P+L têxtil, Coman *et al.* (2011) apontam como ferramenta também relevante a ecoeficiência de têxteis a qual pode incluir os seguintes aspectos:

- Redução da quantidade de materiais dos produtos têxteis;
- Redução da dispersão de materiais tóxicos;
- Redução da quantidade de energia, aprimorando a reciclagem de materiais;
- Extensão do tempo de vida útil dos produtos têxteis;
- Uso sustentável de recursos renováveis;
- Aumento de serviços para os produtos.

Os tópicos e vetores para a ecoeficiência da produção têxtil supracitados convergem para um produto resultante, os “ecotêxteis”. De acordo com Bota e Ratiu (2008), as principais características dos ecotêxteis são: uso somente de fibras que cresceram sem nenhuma pesticida, herbicida ou fertilizantes que sejam tóxicos; boa qualidade; longa durabilidade; produção com menos insumos prejudiciais; e tratamento de água na produção.

Embora não tenham sido encontrados dados quantitativos sobre o impacto ambiental da produção de jeans, é estimado que a indústria têxtil mundial de um modo geral produza dois milhões de toneladas de resíduos anualmente, três milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> e 70 milhões de toneladas de águas residuais (Rusu, 2010).

O setor têxtil envolve atividades industriais bastante complexas, com especificidades em relação a parâmetros de controle de qualidade e ambientais muito diversos. Em comum às empresas têxteis, o meio de transporte carreador das substâncias químicas que agregarão valor aos produtos é a água. E esta água, após sua utilização nos processos industriais, pode tornar-se um típico efluente líquido, normalmente de elevado impacto no meio ambiente (Lúcido, 2003), como por exemplo, aumentando o pH (Bota e Ratiu, 2008).

É importante destacar que o setor têxtil utiliza entre cerca de 150 litros de água (Abit, 2005 *apud* Ueda, 2006) a aproximadamente 200 litros de água para produzir um quilo de tecido (Ratiu *et al*, 2008). O excessivo uso de água é um problema ambiental agravado pelo grande volume de insumos químicos que ela transporta. São estimados em torno de 2.000 diferentes substâncias químicas usadas na indústria têxtil, como corantes, antiespumantes, água sanitária, detergente, branqueadores ópticos, equalizadores, dentre outros (Bota e Ratiu, 2008). Além da água, das substâncias químicas e da energia, outro parâmetro de impacto ambiental é a poluição do ar, que também varia conforme a complexidade do processo produtivo têxtil. De acordo com Ratiu *et al* (2008), a poluição do ar é o tipo de poluição mais difícil para provar, testar e quantificar em uma audição em uma indústria têxtil.

### 1.3. Impacto Ambiental das Fibras do Jeans

Desde a segunda metade do século XX, duas fibras vêm se sobressaindo na moda: o algodão e o poliéster (Costa *et al*, 2000; Lee, 2009, Fletcher e Grose, 2011). Juntas, tais fibras somam mais de 80% do mercado global de têxteis (Fletcher, 2008), sendo as principais componentes dos jeans. A produção da fibra de poliéster tem como saídas emissões no ar e na água de metais pesados, sais de cobalto e manganês, brometo de sódio, dióxido de titânio, óxido de antimônio e acetaldeído (Fletcher, 2008; Lee, 2009). Em contrapartida, a maior vantagem das fibras de poliéster é que as mesmas demandam cerca de 80% menos energia para serem recicladas que a energia necessária para fabricar produtos químicos virgens intermediários do petróleo e convertê-los em fibras (Fletcher e Grose, 2011).

Quanto às fibras de algodão, elas são provenientes de plantações que ocupam uma área de 3% do globo terrestre e que empregam 40 milhões de pessoas, em péssimas condições de trabalho, de extrema pobreza e insalubridade (Lee, 2009). O algodão representa 16% da liberação de inseticidas no mundo – mais do que qualquer outra colheita, e 10% de todos os pesticidas (Lee, 2009; Fletcher e Grose, 2011). Segundo Leonard (2011), para cada quilo de algodão colhido nos Estados Unidos, os agricultores aplicam trezentos gramas de fertilizantes químicos e pesticidas. Como consequência, o elevado uso de substâncias tóxicas implica na perda de muitas vidas humanas. A Organização Mundial da Saúde (OMS) indica que há cerca de três milhões de envenenamentos por pesticida a cada ano, resultando em 20 mil mortes, na maioria entre os pobres das zonas rurais dos países em desenvolvimento (Fletcher e Grose, 2011). No mundo todo, 50% das plantações de algodão são irrigadas artificialmente (Fletcher e Grose, 2011). Essa prática, em detrimento do uso de água da chuva e respeito aos ciclos hidrológicos, tem gerado graves consequências para o meio ambiente, como o desperdício de uma grande quantidade do líquido através da evaporação e de vazamentos (Leonard, 2011).

Não somente no que concerne às plantações de algodão, a fibra de algodão apresenta diversos problemas ecológicos ao longo de toda sua cadeia têxtil. Considerando qualitativamente o ciclo de vida dos produtos têxteis de algodão, Hummel (1997 *apud* Souza, 2000) propõe uma matriz de problemas ecológicos, vide Fig. 1.

	Algodão	Tecelagem / Malharia	Acabamento	Manufatura	Uso das roupas	Descarte	Transporte
Solo							
Água							
Ar							
Recursos							
Energia							
Perdas							
Aspectos Tóxicos							

Legenda

	Problema pequeno		Problema médio		Problema grande
--	------------------	--	----------------	--	-----------------

Figura 1. Matriz de problemas ecológicos no ciclo de vida de têxteis de algodão.

Fonte: Hummel, 1997 *apud* Souza, 2010, p. 34.

Conforme Hummel (1997), enquanto a tecelagem e a manufatura (confeção) apresentam majoritariamente problemas ambientais pequenos, o acabamento (que inclui tingimento, por ex.) concentra maior quantidade de problemas médios e grandes. Também a distribuição (transporte) apresenta grandes problemas, quanto à emissão de poluentes no ar e alto consumo de energia, pois ocorre de forma rodoviária principalmente.

Uma análise quantitativa das fibras de algodão e de poliéster, isto é, uma ACV das mesmas demonstra que as fibras de algodão consomem 40% menos energia na produção que as fibras de poliéster, conforme Tab. 1. As perdas de material, no entanto, são 20% maiores na fiação de algodão comparado às perdas de 2-3% da fiação de poliéster, o que se deve à melhor uniformidade de comprimento das fibras de poliéster (Kalliala e Nousiainen, 1999). Com relação ao

volume de água despendida na produção das fibras, o algodão requer mais água que todas as outras fibras juntas. Já o poliéster, por ser uma fibra sintética, requer mais energia que as fibras naturais (Fletcher e Grose, 2011).

**Tabela 1. ACV inventário de avaliação sobre a produção de um quilo (1kg) de cada tipo de fibra. Fonte: Kalliala e Nousiainen, 1999, p. 18. Nota: dados trabalhados pelos autores.**

Parâmetro	Unidade	100% Poliéster convencional	100% Algodão convencional
Consumo de energia:	MJ	97,4	59,8
Eletricidade	MJ	15,2	12,1
Combustível fóssil	MJ	82,2	47,7
Recursos não-renováveis:	kg		
Gás natural	kg	0,36	0,35
Gás natural, matéria-prima*	kg	0,29	
Petróleo bruto	kg	0,41	0,53
Petróleo bruto, matéria-prima*	kg	0,87	
Carvão	kg	0,14	0,52
Carvão, matéria-prima*	kg	0,37	
Gás LP	kg		0,03
Hidrelétrica	MJ	0,4	1
Urânio natural	mg		14
Fertilizantes	g		457
Pesticidas	g		16
Água	kg	17,2	22200
Emissões no ar:			
CO <sub>2</sub>	g	2310	4265
CH <sub>4</sub>	g	0,1	7,6
SO <sub>2</sub>	g	0,2	4
NO <sub>x</sub>	g	19,4	22,7
HC	g	39,5	5
CO	g	18,2	16,1
Emissões na água:			NI
DCO	g	3,2	
DBO	g	1	
P-total	g	0	
N-total	g	0	
* Os valores das matérias-primas incluem os valores de consumo de energia			

## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral é estudar a possibilidade de substituição do jeans CO/PET convencional pelo jeans CO/PET reciclado para fins de redução de impacto ambiental. Para tanto, tem como objetivos específicos analisar o impacto ambiental de jeans com fibras de algodão e poliéster convencionais e de jeans com fibras mistas de algodão e poliéster reciclados, relacionando os resultados com parâmetros de redução do impacto ambiental na produção têxtil. Tais parâmetros são delimitados tanto quantitativamente (ex. por meio da Análise do Ciclo de Vida de fibras de algodão e poliéster) quanto qualitativamente (ex. boas práticas para a produção têxtil mais limpa).

## 3. MATERIAIS E MÉTODO

O jeans CO/PET convencional é composto de dois tipos de fibras, sendo 78% delas de algodão convencional e tinto de índigo, no sentido do urdume, e as demais de poliéster virgem, no sentido da trama. Já o jeans reciclado se trata de um jeans composto por fios formados por 80% de fibras de algodão desfibrado reciclado e previamente tingido, juntamente a 20% de fibras de poliéster reciclado de garrafas. Neste caso, as fibras misturam-se formando um único fio, uma blenda, que é usado tanto no sentido da trama quanto do urdume.

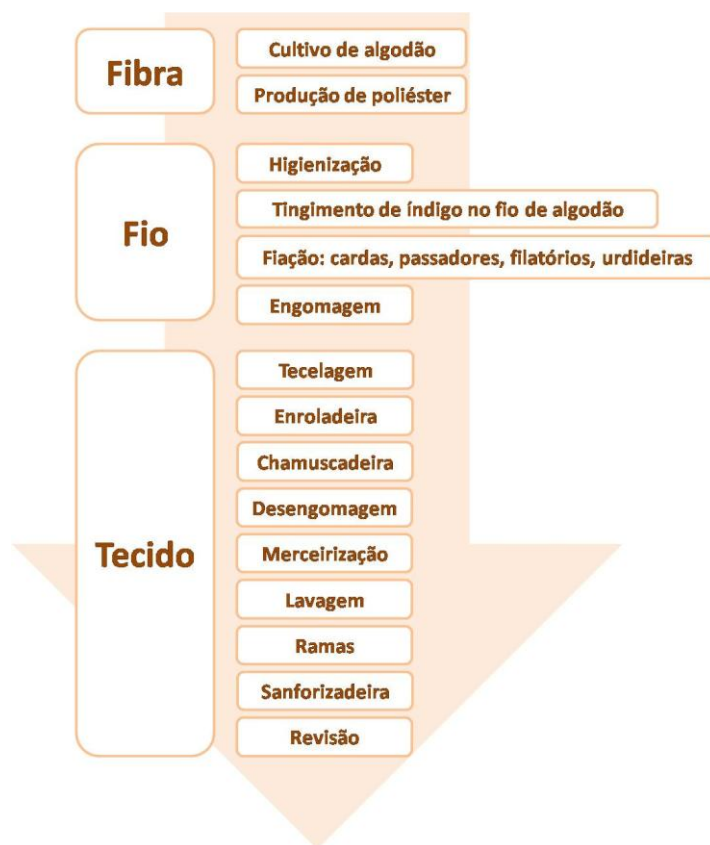
O trabalho fundamenta-se na ACV das fibras de algodão e poliéster, que são a menor unidade e principal matéria-prima que compõe os jeans. Também são comparados os procedimentos de manufatura do jeans CO/PET convencional e do jeans CO/PET reciclado, visando avaliar o impacto ambiental da produção de ambos os tipos de jeans.

Foram realizadas visitas a produção da empresa que manufatura o jeans CO/PET convencional, bem como realizadas entrevistas semi-estruturadas com diversos profissionais do setor têxtil, incluindo representantes, empresários, engenheiros têxteis e técnicos de laboratórios especializados em têxteis. Embora não tenha sido permitido visitar a empresa produtora do jeans CO/PET reciclado, foram coletadas informações sobre sua produção. Os processos de ambos os jeans foram delineados com base nas informações obtidas e em conhecimentos de Engenharia Têxtil. Ao final, o impacto ambiental das fibras foi associado ao impacto ambiental da produção de cada um dos têxteis.

## 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1. Manufatura do Jeans CO/PET Convencional

De acordo com o fabricante do jeans CO/PET convencional estudado neste trabalho (Fig. 2), o diferencial de seus jeans dos concorrentes é apresentar a etapa de acabamento de mercerização, sendo todas as demais etapas comuns ao processo produtivo tradicional de jeans. Destaca-se que a empresa têxtil é certificada com ISO 140001, indicando que a empresa procura a padronização de seus processos ambientais.



**Figura 2. Processo produtivo do jeans CO/PET convencional. Fonte: autores.**

No processo de fiação, os fios de algodão são previamente tingidos de índigo e, por serem fios de urdume, são engomados para resistirem melhor às forças durante a tecelagem. Desde 1913, a maior parte do corante índigo usado para o tingimento é sintético. Mas tanto o sintético quanto o natural, precisa ser reduzido para a sua forma solúvel em água antes de ser usado para o tingimento. A redução do índigo para o leuco-índigo é um importante tipo de processo industrial que é operado em todo o mundo em uma escala considerável (Roessler e Crettenand, 2004, *apud* Meksi *et al*,

<sup>1</sup> A série de normas ISO 14000 é resultado do trabalho do Comitê Técnico TC-207 da Organização Internacional para Normalização (ISO). O Brasil faz parte da ISO, como sócio fundador, por meio da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A série ISO 14000 deu-se como consequência do evento Rio-92, em que foi proposta a criação de um grupo especial na ISO para elaborar normas relacionadas com o tema meio ambiente (Selig *et al*, 2008).

2012) e que tem como principal impacto ambiental o grande volume de águas residuais (Sahinkaya *et al*, 2008; Brik *et al*, 2006), muitas vezes descartadas em afluentes.

Ao sair da tecelagem, os tecidos não possuem uma aparência atrativa e toque agradável. É necessário, portanto, beneficiá-los para serem mais apresentáveis e assim, somar valor aos mesmos. A fibra de algodão contém impurezas naturais, como ceras, proteínas, pectinas e pectoses, fragmentos de sementes, além de poeira, que aderem à fibra (Da Silva *et al*, 2010), e de encorpantes aplicados ao fio (amido, acrilatos, amins graxas e ceras), os quais devem ser retirados no processo de preparação do tecido por meio de processos físicos e químicos.

O acabamento consiste em diversos processos produtivos. O primeiro processo de acabamento passa pelas enroladeiras, que têm por funções: agrupar as peças de tecido provenientes da tecelagem; escovar o tecido retirando fibrilas soltas na superfície do tecido; e, por fim, revisar a qualidade do tecido. Em seguida, o tecido é submetido à chamuscadeira, que visa a melhoria da aparência e toque, além de evitar a formação de *pilling* (“bolinhas” do tecido). Para tanto, a chamuscadeira promove a queima das fibras entrelaçadas na superfície do tecido e remove a goma aplicada anteriormente.

A linha de desengomagem é uma etapa atrelada a da merceirização. Suas funções, semelhantes a da chamuscadeira, objetivam os seguintes efeitos: melhor eficiência na remoção de gomas e melhoria da aparência e toque. Por sua vez, a etapa de merceirização busca alterar a estrutura físico-química na fibra do algodão pela ação da soda cáustica e auxiliar de umectação. Dentre os efeitos produzidos pela contração do tecido e redução da rugosidade das fibras, constam: maior resistência à tração, maior brilho, melhor absorção tintorial, maior maciez e melhor estabilidade dimensional.

Os tecidos são lavados e então destinados às ramas, as quais definem a largura final do tecido, e aplicam-se produtos químicos que favorecem o toque e a costurabilidade do tecido. As ramas tornam os tecidos mais atrativos e com maior facilidade para costurabilidade e manuseio. Em geral, são utilizados amaciantes à base de silicone, ácidos graxos e auxiliares de pré-encolhimento. Por fim, as sanforizadeiras<sup>2</sup> realizam o pré-encolhimento do tecido, melhorando seu toque e realçando o brilho final. Os tecidos são acomodados em pilhas, posteriormente sendo revisados, estocados e destinados aos clientes.

#### 4.2. Manufatura do Jeans CO/PET Reciclado

De acordo com o fabricante do jeans CO/PET reciclado, o único beneficiamento que o tecido recebe é um pré-encolhimento na sanforizadeira. Um ponto fundamental deste processo, além da redução de etapas produtivas, é o fato de não utilizar água na produção do tecido, cujas fibras recicladas que o compõe provêm resíduos têxteis de pós-uso (ex. roupas) e de confecções (ex. retalhos e aparas). O fabricante informou processos e maquinários usados na produção, mas de forma aleatória, pois compreende a produção como sigilosa. As informações foram organizadas, delineando o processo produtivo do jeans reciclado, com base na ordem do fluxo convencional de produção de têxteis (Fig. 3).

Ressalva-se, contudo, na Fig. 3, que os maquinários “prensa” e “*super clean*”, atribuídos à manufatura do tecido, podem apresentar ordem diversa. Infere-se que os tecidos sejam submetidos a calandras (prensas cilíndricas), responsáveis por tornar o acabamento de superfície mais uniforme e acetinado. Seguidamente, são higienizados e submetidos à sanforizadeira. Também é possível que outros processos e/ou maquinários sejam usados, mas não tenham sido informados, como o tingimento, por exemplo.

---

<sup>2</sup> Máquinas responsáveis pelo encolhimento do tecido no sentido do urdume, minimizando o encolhimento dos tecidos durante a lavagem caseira das roupas.



**Figura 3. Processo produtivo do jeans com redução de impacto ambiental. Fonte: autores.**

Embora, de acordo com o fabricante, a manufatura do tecido e dos fios não requeira água, o mesmo não se pode afirmar sobre a manufatura das fibras adquiridas pela empresa. Ao ser confrontado sobre a possibilidade dos tecidos coletados serem tingidos antes de serem desfiados, isto é, antes de serem reciclados em novas fibras, o fabricante não se pronunciou. No entanto, o tingimento das fibras é plausível para que seja garantida a qualidade e o volume referentes à cartela de cores padronizadas dos jeans comercializados regularmente pela empresa (Fig. 4).

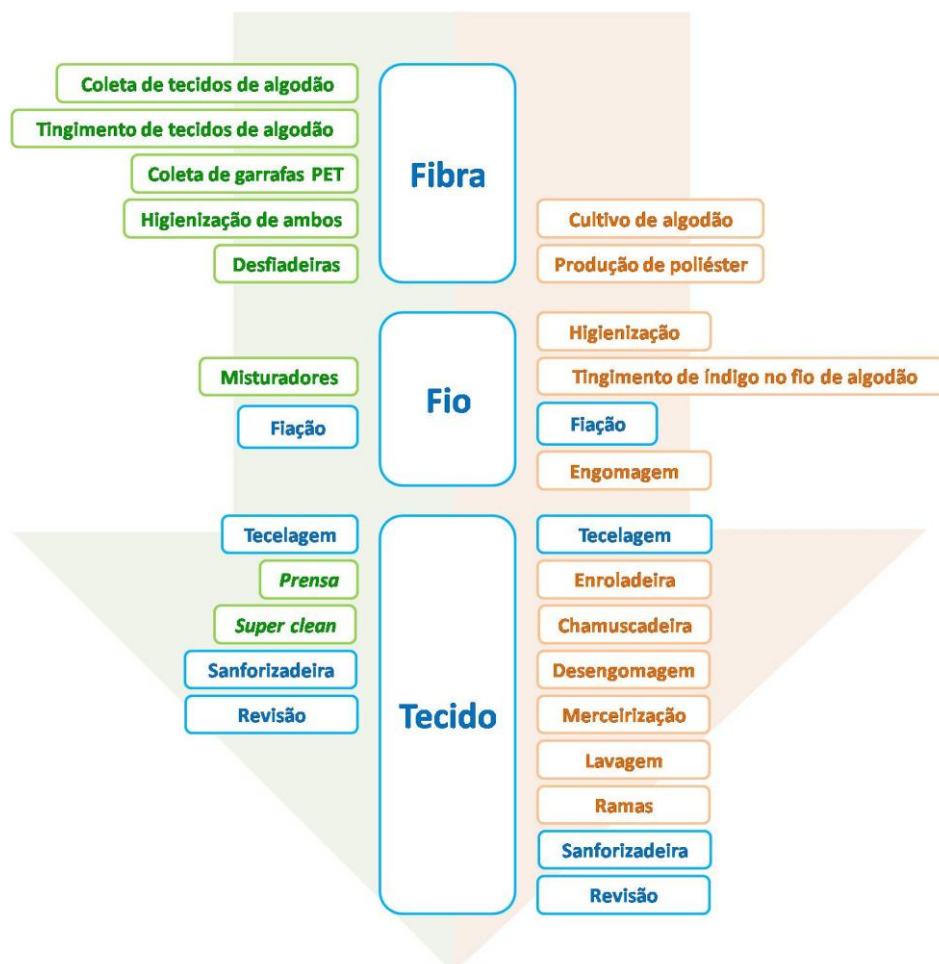


**Figura 4. Cores do jeans reciclado. Fonte: site do fabricante do jeans CO/PET reciclado.**

#### 4.3. Avaliação do Impacto Ambiental da Produção de Jeans

Os processos descritos foram sumarizados conforme a Fig. 5 com a finalidade de melhor visualizar e comparar os procedimentos de manufatura até aqui descritos de ambos os jeans. Baseando-se em princípios de boas práticas para a produção têxtil mais limpa, foram estabelecidos parâmetros para a comparação qualitativa da produção dos jeans CO/PET convencional e CO/PET reciclado. Dessa forma, em oposição ao jeans CO/PET convencional, o jeans reciclado apresenta:

- Redução do número de etapas de processamento
- Redução do consumo de energia
- Redução do consumo de água na manufatura do fio e do tecido
- Redução do consumo de produtos químicos
- Redução do consumo de matérias-primas virgens
- Reciclagem/reuso de matérias-primas no produto
- Redução do volume em aterros sanitários



**Figura 5. Comparação dos processos produtivos dos jeans. Em verde, processos exclusivos do jeans reciclado; em laranja, processos do jeans convencional; e em azul os processos em comum. Fonte: autores.**

Comparando um jeans com o outro, em todos os parâmetros de boas práticas para P+L, o jeans reciclado apresenta melhor desempenho ambiental que o jeans convencional. Embora o jeans reciclado não tenha sua produção certificada com normas ambientais rigorosas, ele é manufacturado por um processo produtivo inovador, mais eficiente em termos ambientais que o jeans CO/PET convencional estudado, pelo fato de dispensar água e produtos químicos na maioria de seus processos de manufatura, reduzir etapas de processamento e de consumo de energia, além de ser em si um processo de reciclagem.

Enfocando-se a quantidade dos processos produtivos para se obter os jeans e o volume de água para 1kg de tecido produzido, a Tab. 2 apresenta uma comparação quantitativa dos processos de fiação e manufatura de cada jeans.

**Tabela 2. Comparação dos processos de manufatura do fio e do tecido que usam água para o jeans CO/PET convencional e jeans CO/PET reciclado.**

Parâmetro	Jeans CO/PET Convencional	Jeans CO/PET Reciclado
Quantidade de processos produtivos de manufatura do fio e do tecido	13	07
Quantidade de processos que usam água	08	NI*
Volume de água (em L) para manufatura de 1kg de tecido. Obs.: não inclui consumo de água de fibras e fios.	150	00
NI = não identificado		

Como na produção têxtil o uso de água é diretamente proporcional à quantidade de substâncias químicas utilizadas, pode-se dizer que o jeans reciclado apresenta uma quantidade mínima ou nula de produtos químicos. Sabendo-se que 1kg de tecido consome 150L de água para ser produzido (incluindo tingimento), estima-se o mesmo volume para a produção do jeans CO/PET convencional. Ressalva-se que essa água ao final do processo produtivo



convencional, tendo transportado os mais diversos produtos químicos, torna-se água residual, a qual é tratada em uma estação de tratamento da empresa e, assim, retorna à produção.

Embora não tenham sido encontradas mensurações do impacto ambiental das fibras de algodão e poliéster reciclados, é possível fazer uma comparação semi-quantitativa para os jeans CO/PET convencional e reciclado. Para tanto, parte-se das premissas que: 1) não se pode afirmar com exatidão a quantidade de energia, água e insumos químicos despendida durante o processo de reciclagem das fibras, dado esse processo de manufatura ser sigiloso e ainda não ter sido estudado; 2) pode-se dizer que o processo de reciclagem das fibras de algodão e poliéster, comparado com a soma de processos (ex. plantação do algodão, irrigação, pesticidas, obtenção do poliéster, etc.) de manufatura das mesmas, consome quantidades inferiores de água, energia e insumos químicos. Além disso, a comparação entre as fibras dos jeans fundamenta-se na ACV das fibras de algodão e poliéster convencionais (Kalliala e Nousiainen, 1999) e no fato de que o poliéster demanda 80% menos energia para ser reciclado que convertido em novas fibras (Fletcher e Grose, 2011). Com base nessas informações e considerando o volume de 1kg de cada tipo de jeans, foram realizados cálculos simples de equação de primeiro grau, configurando a Tab. 3. Destaca-se que a quantidade de água no jeans reciclado, embora não identificada, pode estar associada ao tingimento das fibras que servem para manufatura dos fios e tecido.

**Tabela 3. Comparação semi-quantitativa do impacto ambiental das fibras dos jeans.**  
Fonte: autores.

Tipo de jeans	Percentual (%) da fibra em 1kg de jeans	Qualidade da fibra	Água (em kg)	Energia (em MJ)	Emissões de CO <sub>2</sub> (em g)	Pesticidas + Fertilizantes (em g)
CO/PET Convencional	22	PET virgem	3,7	21,4	508,2	00
	78	Algodão virgem	17.316	46,6	3.326,7	368,9
Total	100		17.319,7	68	3.834,9	368,9
CO/PET Reciclado	20	PET reciclado	NI	3,8	NI	00
	80	Algodão reciclado	NI	NI	NI	00
Total	100		NI	NI	NI	00
NI = não identificado						

A maior vantagem do jeans reciclado, com relação ao convencional, está no fato de excluir de seu impacto os altos valores do impacto ambiental das plantações de algodão. Enquanto 1kg de jeans CO/PET convencional consome 37% (equivalente a 368,9g) de pesticidas e fertilizantes, 1kg de jeans reciclado não consome nenhum percentual.

Em síntese, considerando os parâmetros que puderam ser avaliados quanto à obtenção das fibras, o jeans reciclado apresenta menor impacto ambiental que o jeans CO/PET convencional, pois elimina as etapas de plantação de algodão (e respectivo grande volume de água, pesticidas e fertilizantes associados à mesma) e de consumo de materiais para produção do poliéster. Com relação à manufatura das fibras em fios, isto é, à fiação, os processos são semelhantes quanto aos tipos de maquinários utilizados, tendo ambos os fabricantes informados os mesmos procedimentos em comum. Porém, enquanto no jeans reciclado é fiado apenas um tipo de fio (uma blenda de algodão e poliéster), para o jeans convencional são fiados dois tipos de fio (o de fibras de poliéster e o de fibras de algodão), somando-se a essa manufatura ainda a higienização dos fios, tingimento de índigo no fio de algodão e engomagem. Já no que diz respeito à manufatura dos fios em tecidos propriamente, o jeans reciclado, em detrimento do jeans CO/PET convencional, é vantajoso por utilizar menos processos produtivos e por reduzir o uso de água (bem como respectivos insumos químicos que ela transporta na produção têxtil tradicional). Dado que o tipo de manufatura influencia no produto final não só quanto aos critérios ambientais, a qualidade dos jeans será estudada nos dois capítulos seguintes, considerando a durabilidade dos mesmos.

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho buscou-se estudar a possibilidade de substituição do jeans CO/PET convencional para fins de redução de impacto ambiental. Para tanto, o mesmo foi comparado com o jeans reciclado, quanto à produção têxtil mais limpa e ao impacto das fibras. A comparação da produção do jeans CO/PET convencional versus o jeans reciclado, identificando os fluxos produtivos e materiais associados, permitiu uma avaliação qualitativa quanto às boas práticas de produção mais limpa. Além disso, foi possível estimar a quantidade de água empregada nos processos de produção dos jeans. Essa avaliação demonstrou que a produção do jeans reciclado, embora não associada a mecanismos de certificação ambiental (como é o caso do jeans CO/PET convencional), apresenta menor quantidade de processos e de materiais, sendo mais ecoeficiente que a produção do jeans CO/PET convencional.

A comparação do impacto ambiental das fibras dos jeans fundamentou-se em uma avaliação semi-quantitativa das entradas e saídas das mesmas, como água, energia, emissões de CO<sub>2</sub>, fertilizantes e pesticidas. Essa comparação infere

que os materiais do jeans reciclado implicam em menor impacto ambiental que os materiais do jeans CO/PET convencional. Conclui-se que em relação ao jeans CO/PET convencional, a principal vantagem do jeans reciclado, o qual é o resultado de um processo de reciclagem, é a redução do impacto ambiental na extração de matérias-primas (fibras) e na manufatura dos fios e do tecido.

Como sugestões de trabalhos futuros, é proposta a aplicação dos procedimentos deste trabalho para outros tipos de jeans considerados ambientalmente sustentáveis, como compostos com demais materiais ecológicos (ex. algodão orgânico, sorgo sacarino), bem como aos jeans submetidos a outros processos de manufatura fundamentados na produção têxtil mais limpa (ex. redução de tingimento de índigo).

## 6. REFERÊNCIAS

- Abit, 2012, “Produção de jeans e denim”. Disponível em: < [http://www.abit.org.br/site/navegacao.asp?id\\_menu=8&id\\_sub=25&idioma=PT](http://www.abit.org.br/site/navegacao.asp?id_menu=8&id_sub=25&idioma=PT) > Acesso em: 26 mai. 2012.
- Abit, 2012, “Dados de denim e calça jeans”. Disponível em: < [http://www.abit.org.br/site/navegacao.asp?id\\_menu=8&id\\_sub=25&idioma=PT](http://www.abit.org.br/site/navegacao.asp?id_menu=8&id_sub=25&idioma=PT) > Acesso em: 26 mai. 2012.
- Abreu, M. C. S. *et al.*, 2008, “Perfis estratégicos de conduta social e ambiental: estudos na indústria têxtil nordestina”. Revista Gestão & Produção, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 159-172.
- Beamon, B. M., 1999, “Designing the green supply chain”. Logistics Information Management, v. 12, p. 332-342.
- Bota, S., Ratiu, M., 2008, “Eco-textiles”. In Annals of The International Scientific Symposium Innovative Solutions for Sustainable Development of Textiles Industry. Faculty of Textiles and Leatherwork, University of Oradea, Romania, p. 424-427.
- Brik, M, *et al.*, 2006, “Advanced treatment of textile wastewater towards reuse using a membrane bioreactor”. Process Biochemistry Journal, v. 41, p. 1751–1757.
- Catoira, L., 2006, “Jeans, a roupa que transcende a moda”. Idéias & Letras, Aparecida-SP, 131 p.
- Chang, Y., Chen, H., Francis, S., 1999, “Market applications for recycled postconsumer fibers”. Family and Consumer Sciences Research Journal, v. 27, n. 3, p. 320-340.
- Coman, D., Vrînceanu, N., Neagu, I., 2011, “Eco-efficiency in the textile manufacturing activity by apposition environmental management”. Annals of the University of Oradea Fascicle of Textiles – Leatherwork, v. 7, n. 1, p. 62-65.
- Costa, S.; Berman, D.; Habib, R. L., 2000, “150 Anos da Indústria Têxtil Brasileira”. Senai-Cetiqt/Texto&Arte, Rio de Janeiro, 185 p.
- Da Silva, J. G., 2010, “Estudo comparativo entre filamentos contínuos de PES e PET reciclado considerando o comportamento dos corantes dispersos no tingimento em processos por esgotamento”. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Industrial Têxtil. Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil, Faculdade Senai-Cetiqt, Rio de Janeiro, 77 p.
- Da Silva, O. R. R. F. *et al.*, 2010, “Impacto do beneficiamento sobre o número de neps e quantidade de impurezas da fibra de algodão”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 1, p. 107-112.
- Fletcher, K., 2008, “Sustainable fashion and textiles: design journeys”. Earthscan, Londres e Washington DC, 239 p.
- Fletcher, K., GROSE, L., 2011, “Moda & sustentabilidade: design para mudança”. Editora Senac São Paulo, São Paulo, 192 p.
- Hummel, J., 1997, “Integrating economy and ecology: eco-textiles on the way from a niche market to a mass market”. GATE: technology and development, n. 1, p. 35-41.
- John, V. M.; Zordan, S. E., 2001, “Research & development methodology for recycling residues as building materials”. Waste Management, v. 21, p. 213-219.
- Kalliala, E. M., Nousiainen, P., 1999, “Life cycle assessment: environmental profile of cotton and polyester-cotton fabrics”. Research Journal, v. 1, n. 1, 13 p.
- Leão, M. D. *et al.*, 2002, “Controle ambiental na indústria têxtil: acabamento de malhas”. Projeto Minas Ambiente, Belo Horizonte, 356 p.
- Lee, M., 2009, “Eco chic: o guia de moda ética para a consumidora consciente”. Larousse do Brasil, São Paulo, 224 p.
- Leite, P. R., 2009, “Logística reversa: meio ambiente e competitividade”. Pearson Prentice Hall, São Paulo, 240 p.
- Leonard, A., 2011, “A história das coisas: da natureza ao lixo, o que acontece com tudo que consumimos”. Rio de Janeiro, Zahar, 302 p.
- Lúcido, G. L. A., 2003, “A educação ambiental na área têxtil”. Revista Associação Brasileira de Técnicos Têxteis, São Paulo, v. 4, p. 18-19.
- Martins, G. B. H., 2012, “Práticas limpas aplicadas às indústrias têxteis de Santa Catarina”. Dissertação de mestrado em Engenharia de Produção, UFSC, 1997. Disponível em: < <http://www.eps.ufsc.br/disserta97/geruza/index.html> > Acesso em: 12 out. 2012.
- Medeiros, D. D. *et al.*, 2007, “Aplicação da produção mais limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua”. Produção, v. 17, n. 1, p. 109-128.
- Meksi, N.; Ticha, M. B.; Kechida, M.; Mhenni, M. F., 2012, “Using of eco-friendly  $\alpha$ -hydroxycarbonyls as reducing agents to replace sodium dithionite in indigo dyeing process”. Journal of Cleaner Production, v. 24, p. 149-158.

- Moura, T. N. *et al*, 2005, “A intervenção da produção mais limpa nas indústrias têxteis do município de Jardim de Piranhas”. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, 12 p.
- Pezzolo, D. B., 2007, “Tecidos: história, tramas, tipos e usos”. Editora Senac São Paulo, São Paulo, 324 p.
- Ratiu, M., Bota, S. R., Suteu, C., 2008, “Impact of the textile industry on human and environmental health”. In Annals of The International Scientific Symposium Innovative Solutions for Sustainable Development of Textiles Industry. Faculty of Textiles and Leatherwork, University of Oradea, Romania, p. 412-417.
- Rusu, L. 2010, “Environment protection and the 21st century fibers”. Annals of the University of Oradea Fascicle of Textiles – Leatherwork, v. 1, n. 1, p. 263-266.
- Sachs, I., 1993, “Estratégias de transição para do século XXI: desenvolvimento e meio ambiente”. Studio Nobel, São Paulo, 104 p.
- Sahinkaya, E. et al, 2008, “Biological treatment and nanofiltration of denim textile wastewater for reuse”. Journal of Hazardous Materials, v. 153, p. 1142-1148.
- Selig, P. M.; Campos, L. M. S.; Leripio, A. A., 2008, “Gestão ambiental”. In: Batalha, M. O. (org). Introdução à engenharia de produção. Elsevier, Rio de Janeiro, 312 p.
- Souza, M. C. C., 2000, “Produção de algodão orgânico colorido: possibilidades e limitações”. Informações Econômicas, São Paulo, v. 30, n. 6, jun. p. 91-98.
- Ueda, A. C., 2006, “Aplicação de micelas reversas na remoção de corantes têxteis catiônicos”. Dissertação de mestrado. Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 70 p.
- Vilaplana, F., Karlsson, S., 2008, “Quality concepts for the improved use of recycled polymeric materials: a review”. Macromolecular Materials and Engineering, v. 293, p. 274-297.

## 7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

## COMPARATIVE STUDY OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF TEXTILE PRODUCTION OF CO/PET CONVENTIONAL JEANS AND CO/PET RECYCLED JEANS

Luciana dos Santos Duarte, santosduarte.Luciana@gmail.com<sup>1</sup>

Raoni Guerra Lucas Rajão, rajao@ufmg.br<sup>2</sup>

Paulo Eustáquio de Faria, paulofaria@ufmg.br<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculdades Kennedy, R. José Dias Vieira, 46, Rio Branco, Belo Horizonte – MG – CEP 31.535-040

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Av.

Antônio Carlos, 6627, Campus Pampulha, Belo Horizonte – MG – CEP 31.270-901

**Abstract.** *Jeans is a core material in human culture. In order to reduce the environmental impact of this textile, jeans made of mixed cotton fibers and recycled polyester have been offered as environmentally sustainable alternative CO/PET conventional jeans. The environmental impact of both jeans is evaluated in this study. For this, it is based on LCA of cotton and polyester fibers and data on production processes of each of jeans. At the end, the manufacturing procedures of CO/PET jeans conventional and jeans CO/PET recycled jeans are compared, to evaluate the environmental impact of producing both jeans. Considering the parameters that could be evaluated for obtaining fibers, recycled jeans has less environmental impact than CO/PET conventional jeans, since it eliminates the steps of planting cotton (and its large volume of water, pesticides and fertilizers associated) and consumption of materials for the production of polyester, being itself a recycling process. Already in the manufacturing of yarns, whereas in recycled jeans is spun only one type of yarn (one blend of cotton and polyester), for conventional jeans are spun two types of yarn (one made of a polyester fiber, and the other of cotton fibers), adding up the production process still cleaning of yarn, dyeing in indigo and cotton yarn sizing. With regard to the manufacture of the textiles properly, it is concluded that the recycled jeans, over CO/PET conventional jeans, is advantageous because it use less productive processes and reduces the use of water as well as their chemical inputs that it carries in production traditional textile.*

**Keywords:** *Recycled jeans, textile production, recycled textile fibers, textile recycling.*