



Academy

INTERNATIONAL WORKSHOP
ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

Avaliação Ambiental e Econômica da implantação da Produção Mais Limpa no Processo de Fiação Têxtil

OLIVEIRA NETO, G. C. ^{a*}, SILVA, P. C. ^a, CORREIA, J. M. F. ^a, LUCATO, W. C. ^a

a. Universidade Nove de Julho, São Paulo

**Corresponding author, geraldo.prod@gmail.com*

Resumo

A eficiência energética e redução no consumo de matérias-primas no processo de fiação têxtil contribuem com as metas para alcançar o desenvolvimento sustentável em termos de padrões de produção e consumo sustentável. O objetivo deste artigo foi desenvolver avaliação econômica e ambiental da adoção de mudança tecnológica como ação de produção mais limpa no processo de fiação têxtil. O método adotado foi estudo de caso e para coleta de dados foi utilizado entrevista e observação em dois processos de fiação em uma indústria têxtil. As vantagens econômicas e ambientais foram calculadas com base na redução de emissões e resíduos. Para a análise ambiental foi utilizado o *Mass Intensity Factor*. Os resultados mensuram ganho econômico e ganho ambiental, contribuindo para processo de tomada de decisão de novos investimentos e evidenciam a otimização das matérias primas, redução do consumo de energia elétrica, reaproveitamentos intermediários e redução de resíduos para descarte que são fatores relevantes para as gerações futuras.

Palavras-chave: Produção Mais Limpa, Produção e Consumo Sustentável, Mudança Tecnológica, Redução no consumo de energia e matérias-primas, processo de fiação têxteis

1. Introdução

Atualmente, as preocupações com o desenvolvimento sustentável são importantes na tomada de decisões pelos gestores industriais e seus stakeholders em todo o mundo, sejam pela garantia de retorno financeiro, pela minimização dos impactos negativos ambientais e pela garantia dos recursos naturais para as gerações futuras (CAIADO et al., 2017). O processo de produção da indústria têxtil vem passando por transformações principalmente referentes as mudanças tecnológicas que resultaram expressivos incrementos de produtividade nos setores de fiação, de tecelagem, de malharia, de acabamento/beneficiamento e de confecção (GORINI, 2000).

Com isso, as indústrias buscam incluir em seus processos de tomada decisões os aspectos ambientais e sociais para os novos projetos de investimentos. A partir deste cenário, a alternativa para as indústrias têxteis é a promoção de novos investimentos na melhoria de seus processos, em novas máquinas, bem como em ofertar produtos em conformidade as exigências de qualidade integradas a melhoria na prestação de serviços que incluem boas práticas de fabricação/produção e adequação ambiental (GANZER, 2013). Assim, com a minimização dos impactos ambientais negativos ocorre a melhoria da qualidade de vida para todos, estimula a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos e insumos, bem como fomenta a geração de trabalhos decentes e o comércio justo. Ademais, atendem ao conceito de produção e consumo sustentável (PCS) contribuindo para a conservação dos recursos

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

Barranquilla - Colombia - June 21st and 22nd - 2018

naturais e dos ecossistemas, dissociando crescimento econômico da degradação ambiental (MMA, 2014).

A escolha da ferramenta a ser implementada é de suma importância na tomada de decisão, pois a maioria das ferramentas existentes para o diagnóstico inicial e para a identificação de intervenções adequadas possui desvantagens, principalmente por serem incompletas e não abordam todos os níveis da organização ou por serem qualitativas e, portanto perdem oportunidades importantes para melhorias da indústria (DOBES, 2016). Nesse contexto, A Produção Mais Limpa (P+L) é uma estratégia relevante para auxiliar as indústrias na redução de impactos ambientais, objetivando a substituição dos atuais materiais e/ou investimentos em materiais menos poluentes e mudanças tecnológicas por meio da adoção de tecnologias limpas (UNEP, 1990; CNTL, 2003).

Com destaque no processo produtivo de fiação têxtil que é o alvo desse estudo, foram considerados os impactos ambientais que este processo de produção gera e também do consumo de materiais e de energia requeridos pelo processo, visando optar pelos processos de menor consumo quando possível (USSUI, 2013). Ressalta-se, que a minimização do impacto ambiental por meio de eficiência energética e redução no consumo de matérias-primas no processo de fiação têxtil consistem em assunto relevante para a prática e teoria, devido ao relacionamento com o 12^o objetivo do desenvolvimento sustentável, que consiste em assegurar os padrões de produção e consumo sustentáveis, conforme fundamenta Global Goals For Sustainable Development (2018).

Pelo exposto, o objetivo deste artigo é desenvolver avaliação econômica e ambiental da adoção de mudança tecnológica como ação de P+L no processo de fiação têxtil.

2. Revisão da Literatura

Esta seção conceitua produção mais limpa, bem como os conceitos de fiação convencional de uma indústria têxtil.

2.1 Produção Mais Limpa

O consumo de energia elétrica e seu uso eficiente nas linhas de produção são fundamentais para garantir o funcionamento saudável das economias mundiais. Com base nisso, para garantir a sustentabilidade, o fornecimento e sua utilização devem aplicar o princípio de minimizar os impactos negativos ambientais (YONG et al., 2016). A implementação da P+L é uma ferramenta muito significativa que permite aos tomadores de decisão avaliar quantitativamente a sua eficácia e para o desenvolvimento sustentável na indústria (LI et al., 2017).

Visto que, nos processos de produção o objetivo da P+L é reduzir o consumo de recursos naturais e energia, eliminar matérias-primas tóxicas e reduzir resíduos e emissões por meio de mudanças tecnológicas no sistema de produção, que resulta no aumento da produtividade (UNEP, 1990; GIANNETTI; ALMEIDA, 2008). Já em relação ao produto, a P+L envolve a seleção de tecnologia apropriada e o uso de peças menos poluidoras com foco na análise do ciclo de vida, considerando desde a extração de matérias-primas até a disposição final (PNUMA, 1990). Com isso, segundo UNEP (2004) é importante as empresas desenvolverem estratégia para aplicação de P+L com foco nos seguintes níveis:

No Nível 1, a Redução na Fonte, prioriza as ações que buscam a redução da geração de resíduos e emissões na fonte geradora, o que pode ser obtido por modificação no produto ou no processo produtivo, incluindo mudança tecnológica por meio boas práticas operacionais, substituição de matéria-prima e modificação da tecnologia. Estas medidas são as mais adequadas do ponto de vista da P+L, pois reduzem a utilização dos recursos naturais e induzem a indústria a buscar inovação tecnológica.

No Nível 2, quando as medidas sugeridas no Nível 1 não forem possíveis de serem adotadas, procura-se otimizar o ciclo interno da indústria, com a reutilização dos resíduos gerados dentro do próprio processo ou em outro processo da indústria (CNTL, 2003). É caracterizado pela Reciclagem Interna todos os processos de recuperação de matérias-primas, materiais auxiliares e insumos que são realizados dentro da planta industrial, tais como: a reutilização de produtos como matérias-primas com

mesmo propósito e a reutilização de matérias-primas ou produtos usados para um propósito diferente.

O Nível 3 ocorre quando os resíduos e emissões geradas não podem ser reutilizados pela própria unidade produtiva que a gerou. Neste caso, são propostas as medidas de reciclagem externa ou reaproveitamento em ciclos biogênicos. De acordo com o CNTL (2003), a Reciclagem Externa tem por finalidade aproveitar os resíduos e introduzi-los, novamente, ao ciclo de produção destacando duas modalidades: a) Estruturas: retorno como matérias-primas a outros processos; b) Materiais: caracteriza a recuperação e uso como subprodutos, após tratamento; ou com o reaproveitamento do poder calorífico do resíduo para geração de energia.

Desde a publicação do Relatório Brundtland, os processos de produção e padrões de consumo em direção à sustentabilidade melhoraram e focam na PCS (LUKMAN et al., 2017). Assim verifica-se que as opções de técnicas de P+L, devem ser analisadas e selecionadas, priorizando, sempre que possível, as alternativas de nível 1 – redução na fonte – seguida das ações de nível 2 e posteriormente de nível 3.

2.2 O processo de fiação convencional em uma indústria têxtil

O processo de produção do setor têxtil é bastante complexo, segundo Keller (2010, p. 92), “a heterogeneidade decorre particularmente da própria descontinuidade do processo produtivo têxtil onde as várias etapas produtivas são realizadas de forma interdependente”.

A fiação é a etapa de produção do fio a partir de fibras têxteis e seu processo é desenvolvido por uma sucessão de atividades que transformam as fibras têxteis, inicialmente desordenadas, que passam por um processo de estiragem e torção transformando o em um único comprimento (MEHLER, 2013).

Segundo Gorini (2000) o processo de fiação consiste na produção de fios têxteis a partir de fibras naturais, modificadas ou sintéticas diferindo se de acordo com o tipo de processo e tecnologia empregada. Souza (2009) ressalta as duas tecnologias mais empregadas para a produção de fios têxteis, conhecidas como fiação convencional e a fiação Open-end, onde a fiação convencional utiliza o filatório de anel na etapa de fiar do processo, enquanto a fiação Open-end emprega o filatório a rotor.

O processo de fiação convencional se distingue em duas linhas de processos segundo o tipo de fio que se pretende produzir; a linha de processo para fios cardado e a linha de processo para fios penteado (GORINI E SIQUEIRA, 1997). A linha de processo para fios penteado apresenta custos de processo diferenciados, uma vez que é adicionado à linha, equipamentos tais como as reunideiras e penteadeiras que removem as fibras curtas e proporciona uma maior qualidade no produto final (SOUZA, 2009).

Segundo Antonelli (2007) na composição de custos de uma fiação convencional o maior percentual dos custos está relacionado à aquisição de matéria-prima (algodão), fator que confere a este item, a necessidade de controle, a maximização do rendimento e a redução dos desperdícios por influenciar significativamente no custo do fio.

Desta forma, conclui-se que a linha de processo do fio penteado por agregar maior valor ao produto e por ser mais completa em termos de etapas e equipamentos, foi a que melhor representou ao propósito deste estudo.

3. Método

A melhoria continua dos processos produtivos é uma necessidade constante em termos de mudanças tecnológicas. Além disso, o atendimento as legislações ambientais e a otimização do consumo de recursos naturais, bem como a busca por qualidade e a redução de custo para competitividade das organizações. Estas necessidades impulsionaram o desenvolvimento da seguinte pergunta de pesquisa: É possível obter vantagem econômica e ambiental na adoção de mudança tecnológica como ação de produção mais limpa no processo de fiação têxtil?

O método adotado foi o estudo de caso e recursos para a coleta de dados foram obtidos por meio de

entrevistas semi estruturada e observação “in loco” pelos pesquisadores em visita a uma indústria de fios, que é o ambiente da pesquisa e, por conseguinte proporcionaram a coleta de evidências sobre o caso. As evidências comumente são relevantes para fornecer informações adicionais sobre o tópico em estudo (YIN, 2010). A entrevista com os responsáveis técnicos de produção e as observações no processo produtivo constitui em uma técnica importante e muito adotada em metodologia qualitativa (MCCRACKEN, 1991). Desta forma, foi possível realizar o levantamento dos dados do processo produtivo que por meio dos diversos relatórios e documentos de produção do sistema de gestão integrado da produção (ERP) da indústria forneceram os valores referentes às quantidades produzidas mensais em cada etapa do processo, bem como das informações percentuais de reprocesso e de descarte gerado.

Nos relatórios de produção, permitiram a coleta de dados relativas as quantidades de pó de filtro, de resíduos de fibras e de impurezas que são retidos e encaminhados para a empresa recuperadora. Por meio do relatório do setor de penteagem foram obtidas as quantidades de remoção de fibras gerada nesta etapa produtiva e que são enviadas para reaproveitamento em outro processo. Já os relatórios do setor de filatórios, permitiram a obtenção das quantidades de fios produzidos e das quantidades de pneumafio gerados, que é encaminhado para reprocesso. Finalmente nas informações constantes no relatório do setor das conicaleiras permitiram a coleta de dados referentes as quantidades finais produzidas de estopa e de fio gerada na linha e destinada para o setor de expedição.

Com a coleta dos dados foi realizada a organização e análise dos dados existentes nas planilhas e tabelas. Com isso, foi possível a avaliação ambiental e econômica da implantação das ferramentas da ecoeficiencia (OLIVEIRA NETO, 2010 e 2014). Esta metodologia viabilizou o levantamento das quantidades de resíduos recuperados, dos reprocessados, e dos descartados para o desenvolvimento do balanço de massa para detalhar os materiais e calcular o total de material economizado (MTE).

Para a avaliação econômica, foram calculados as receitas (economia) e os custos que permitiram avaliar a ocorrência de ganho econômico para a indústria. O *payback* foi à técnica adotada para a avaliação do período de retorno do investimento do estudo em questão (ver Eq. 1), em opção ao retorno sobre investimento (em inglês, ROI), visto que aborda avaliação de período de retorno e de investimento para substituição de equipamentos fabris (DA FONSECA, 2010).

$$\text{Payback} = \text{Total Investimento da Modernização} / \text{Fluxo da rentabilidade mensal} \quad (1)$$

Para a avaliação ambiental foi empregada a ferramenta da ecoeficiencia “Mass Intensity Factor” (MIF). Com a aplicação desta ferramenta é possível mensurar o impacto ambiental associado à extração de recursos de seus ecossistemas. Com isso, foram identificados os materiais e quantificados os fatores da intensidade de material (IF) nos compartimentos classificados como abiótico, biótico, água, ar e erosão, existentes no estudo. A tabela 1 apresenta os respectivos IF deste estudo.

Tabela 1 – Fatores de Intensidade de Material

Compartimento	Algodão (kg/kg)	Energia Elétrica (kWh)
Material Abiótico	8,6	1,55
Material Biótico	2,9	0
Água	2,74	66,73
Ar	6.814	0,54
Erosão	5,01	0

Fonte: Wuppertal Institute (2018)

O próximo passo foi efetuar a avaliação ambiental por meio do MIF que é o resultado da quantidade de massa (M) multiplicado pelo respectivo IF (ver Eq. 2). Na sequência, com os somatórios de cada compartimento (MIF), foi medida a redução do impacto ambiental nos compartimentos (ver Eq. 3). Finalmente para o cálculo da intensidade total de massa (MIT) que contabiliza a redução de impacto pela soma dos MICs (ver Eq. 4).

$$\text{MIF} = \text{M} \times \text{IF} \quad (2)$$

$$\text{MIC} = \sum \text{MIF de cada compartimento} \quad (3)$$

$$\text{MIT} = \sum \text{MIC} \quad (4)$$

Para comparar o ganho econômico (GE) com o ganho ambiental (GA) foi empregado o índice de ganho ambiental (IGA) que é obtido pela razão entre o MIT e o (GE), conforme Eq. 5, e o índice de ganho econômico (IGE) que é obtido pela razão entre MTE e o (GE) ganho econômico (ver Eq. 6).

$$\text{IGA} = \text{MIT} / \text{GE} \quad (5)$$

$$\text{IGE} = \text{economia total de materiais} / \text{Ganho econômico} = \text{MET} / \text{GE} \quad (6)$$

4. Estudo de Caso

O estudo de caso foi realizado em uma indústria de fios têxteis em duas linhas de processo com diferenças e defasagem tecnológica entre ambas para o processo produtivo convencional e penteado.

4.1 Caracterização da empresa

A indústria pesquisada decidiu implantar a P+L em sua produção de Fios de Fibras de Algodão e Mistos (Fibras Sintéticas e Artificiais Regeneradas). Com esta tomada de decisão o objetivo é a redução de consumo de matérias-primas e energia por meio de mudança tecnológica.

Inicialmente foram obtidas informações importantes em relação ao consumo energético e das matérias-primas, bem como da produtividade e das quantidades de resíduos gerados e descartados no processo produtivo convencional e penteado das duas linhas de fio têxtil. Face os altos valores de investimentos nos processos de fiação, foram realizadas uma série de análises para possibilitar e viabilizar a tomada de decisões adequada para aprovação dos novos investimentos.

Além disso, outro fator que corrobora para a tomada de decisão foi a crescente preocupação com o meio ambiente e a necessidade das indústrias deste segmento em atender os novos conceitos de produção ecologicamente corretos. A fig. 1 permite visualizar o fluxograma do processo produtivo e as etapas de geração de resíduos, bem como mostra os pontos de retorno do processo produtivo, realçando os detalhes existentes no processo de fiação convencional penteado.

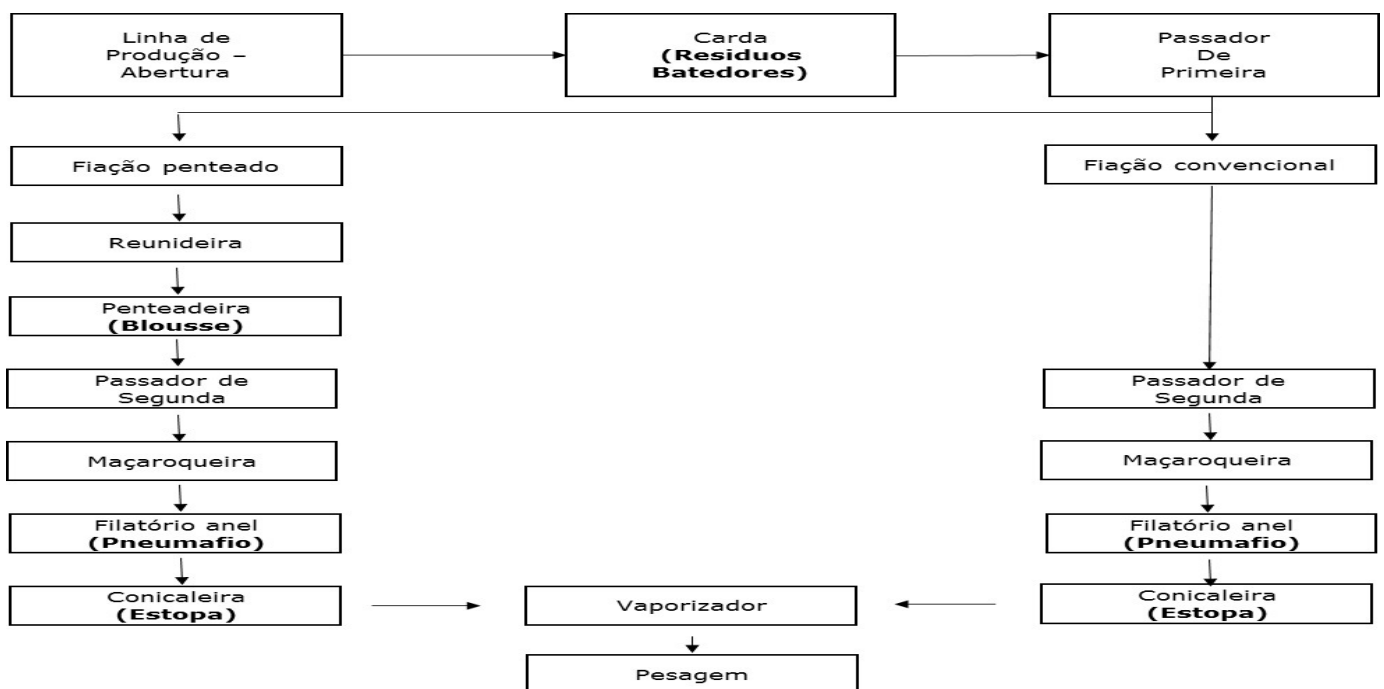


Fig. 1 – Fluxograma do processo produtivo e das etapas de geração de resíduos

4.2 Levantamento do processo produtivo e consumo energético por linha

A capacidade de produção de fios penteada da linha processo antiga (LPA) e linha processo moderna (LPM) foi o parâmetro para efetivar o comparativo do processo produtivo e de consumo energético. Além disso, em relação aos recursos físicos foram considerados os seguintes fatores de conversão para a equiparação das duas linhas; mesma base de título médio de produto de saída (fios), mesma quantidade de unidade produtiva fusos e mesmo tipo de matéria prima.

A tabela 2 proporciona a visualização dos dados quantitativos do processo de cada linha estudada desde a quantificação (kg/mês) de entrada de matéria-prima algodão virgem e com os parâmetros de perdas de materiais representados em percentuais que são oriundos do processo produtivo das linhas estudadas. Além disso, a tabela 2 evidencia e fornece o consumo de energia mensal (kWh/mês) e o consumo energético por quilograma de fio produzido (kW/kg) para as linhas LPA e LPM. Com isso, foi constatado que do total de 210.713 kg de algodão alimentado mensalmente a LPA por meio de quebras no processo gerou 72.949 kg de material para descarte e ou reprocesso, que representam 34,62%. Parte deste material é recuperada para uso em outra linha de processo e a outra parte descartada. Do total de algodão alimentado foi produzido 137.764 kg de fios penteado com consumo de energia elétrica de 587.675 kWh por mês, o que representa 4,27 kW por kg de fio.

Em relação a LPM foram alimentados 405.831kg de algodão virgem, dos quais gerou uma quebra de 33,07% correspondente a 134.208 kg de material para ser parte recuperado e outra parte descarte. Estas quantidades permitem identificar uma produtividade de 1,97 vezes maior que a LPA. Além disso, a LPM produziu 271.623 kg de fios penteado com consumo de 670.339 kWh/mês, isto é 2,47 kW por kg de fios. Assim sendo, pela análise dos valores obtidos e reportados na tabela 02 foi evidenciado que a LPM, mesmo com volumes maiores de material processado em relação a LPA, apresentou um consumo de energia de 2,47 kW/kg de fios e 33,07% de quebra de matéria prima, sendo mais eco eficiente que LPA, que resultou em um consumo de energia de 4,27 kW/kg e uma quebra de 34,62% de matéria prima.

Tabela 2 – Capacidade produtiva das linhas e consumo energético

Materiais e Insumo / Linha de Processo	LPA		LPM	
Total Algodão Virgem Alimentado	210.713 kg/mês		405.831 kg/mês	
Total Reprocesso/Descarte	72.949 kg/mês	34,62 (%)	134.208 kg/mês	33,07 (%)
Blousse (fibras curtas removidas)	33.714 kg/mês	16 (%)	64.933 kg/mês	16 (%)
Estopa Conicaleira	4.636 kg/mês	2,2 (%)	7.711 kg/mês	1,9 (%)
Pneumafio	5.268 kg/mês	2,5 (%)	5.073 kg/mês	1,25 (%)
Pó de filtro	3.561 kg/mês	1,69 (%)	6.859 kg/mês	1,69 (%)
Resíduos batedor/cardas	4.172 kg/mês	1,98 (%)	8.035 kg/mês	1,98 (%)
Retorno processo	21.598 Kg/mês	10,25 (%)	41.598 kg/mês	10,25 (%)
Produção: Fios base Ne20	137.764 kg/mês		271.623 kg/mês	
Consumo Energia Elétrica	587.675 kWh/mês	4,27 kW/kg fio	670.339 kWh/mês	2,47 kW/kg fio

Fonte: Sistema de Informação da Indústria

Na sequência foi realizado o balanço de massa do material, a partir do levantamento de dados do processo que estão apresentados na tabela 3, referentes às quantidades descartadas por cada linha estudada. Assim, foi efetuado o cálculo de todo o consumo de fibras de algodão, da geração de resíduos oriundos do processo produtivo desde a abertura e limpeza das fibras, incluindo os materiais não conformes e que foram disponibilizados para retorno, bem como das quantidades de fibras curtas retiradas durante o processamento do material.

4.3 Vantagens econômicas com a otimização da matéria prima e redução de Energia

Conforme mostrado na tabela 03, ficou evidenciada a existência de diferença no aproveitamento de matéria prima (algodão) entre as linhas pesquisadas, onde LPA gerou um descarte 12,49% enquanto na LPM foi de 11,71%, esta diferença de 0,78% correspondeu ao melhor aproveitamento de matéria

prima em LPM, ou seja, 0,78% de 405.831 kg representaram 3.165 kg de algodão a um valor atual de R\$ 5,20, que representaram uma economia de R\$ 16.435,20 por mês.

Tabela 3 – Vantagens econômicas com a otimização do uso de matéria prima e pela redução de energia elétrica

Materiais e Insumo /Linhas	LPA	LPM	Valores	Economia Mensal
Total Algodão Alimentado	210.713 kg/mês	405.831 kg/mês		
	Descarte (kg/mês)	Quebra	Descarte (kg/mês)	
Total Descarte/Reprocesso	26326		47512	
Blousse (fibras curtas removidas)	11800	35,00 (%)	22727	
Estopa Conicaleira	1370	100,00 (%)	2029	
Pneumafio	1578	26,00 (%)	1319	
Pó de filtro	3561	100,00 (%)	6859	
Resíduos batedor/cardas	1970	47,21 (%)	3794	
Retorno processo	6047	28,00 (%)	10815	
Total Descart / Total Algodão x100	12,49 (%)		11,71 (%)	
Diferença Percentual LPM e LPA		12.49 -11.71=	0,78 (%)	
Quant. Algodão reaproveitado		405831 x 0,78 =	3165	5,20 (R\$ / kg) R\$ 16.435,20
Produção: Fios base Ne20	137.764 kg/mês		271.623 kg/mês	
Consumo Energia Elétrica/Linha	4,27 kWh/kg		2,47 kWh/kg	
Total Energia Elétrica/Linha	587.675 kWh/mês		670.339 kWh/mês	
Implemento produtivo LPM/LPA	133859 kg/mês	Diferença	1,798 kWh/kg	0,28 kWh R\$ 67.386,50
Total (Otimização Algodão e Energia Elétrica)				R\$ 83.821,70

Em relação ao comparativo de economia relativa a redução do consumo de energia elétrica, fica demonstrado pelos resultados obtidos e apresentados na tabela 03 que a otimização da LPM, para um incremento de produção de 133.859 kg promoveu uma redução de 1,789 no kW/kg e considerando o preço atual de kWh a R\$ 0,28 possibilitou a projeção de uma economia de R\$ 67.386,50 por mês. Com isso, a vantagem econômica resultante da otimização do uso da matéria prima foi de R\$16.435,20 por mês que somados à economia no consumo de energia elétrica de R\$ 67.386,50 perfazem uma economia de R\$ 83.821,70 por mês.

Com o resultado destas economias obtidas pela na otimização da matéria prima e da redução do consumo de energia elétrica. A indústria realizou a elaboração de projeto de investimentos para a modernização de seu parque produtivo de LPA para LPM.

Com isso, foram analisados e quantificados os equipamentos a serem modernizados, bem como as despesas de serviços e da remontagem, que resultaram num total de R\$ 4.710.000,00 conforme apresentados na tabela 04.

Tabela 04 – Total do investimento em (R\$) para modernização da Linha de processo.

Equipamentos para modernização	Investimento por equipamento (R\$)	Número de equipamentos	Investimentos total por equipamentos (R\$)
Filatórios convencional de Anel	490,000.00	7	3,430,000.00
Maçaroqueira Automática	320,000.00	2	640,000.00
Conjunto de acessórios e Transporte	460,000.00	1	460,000.00
Despesas de Montagem / Serviços	180,000.00		180,000.00
Total do Investimento de Modernização			4,710,000.00

Fonte: Sistema de Informação da Indústria

Segundo Oliveira Neto et al. (2010), a utilização do ROI é uma das técnicas de análise de investimento mais recomendadas para a avaliação das vantagens econômicas, entretanto para esta pesquisa foi aplicado o cálculo do *payback*, conforme a Eq. 1, pois esta técnica permite a determinação do tempo necessário para a recomposição do investimento aplicado e por conseguinte foi considerada como a

metodologia adequada para ser aplicada em ambientes com risco elevado (DA FONSECA, 2010). Com a técnica definida, foi realizada a entrevista com o Diretor financeiro da organização que possibilitou a obtenção de informações necessária para esta avaliação.

Assim, foram obtidos os dados relativos a rentabilidade esperada, que são as economias obtidas pela otimização de matéria-prima e da redução do consumo de energia elétrica no processo estudado que é de R\$ 83.821,70, bem como da taxa de atratividade mínima que para o investimento de modernização é de 11%. Como o *payback* é a razão entre os valores de investimentos e do fluxo de período esperado (DA FONSECA, 2010). Desta forma, para o investimento total de R\$ 4.710.000,00 será recuperado após um prazo de 56,19 meses, isto é 4,7 anos. Este período de retorno do investimento foi avaliado como aceitável pela direção financeira da organização.

4.4 Vantagens ambientais com a redução de descarte e do consumo de energia

Para a avaliação dos ganhos ambientais e da redução dos impactos ambiental foi adotado método desenvolvido por Oliveira Neto (2011) que calcula a quantidade de massa do fluxo de entrada pelos fatores de Intensidade de material de todos os compartimentos, Abiótico, Biótico, Ar, Água e Erosão. Finalizando, é obtido o valor do MIT.

Com os dados levantados, e apresentados na Tabela 05, possibilitam a efetuação dos cálculos da diferença de massa de material entre a LPA e LPM, que resultou em 3.165 kg mensais, que na metodologia adotada representa o MET.

Além disso, foram calculados os valores de MIF (ver Eq. 2) e do MIC (ver Eq. 3), que conceitualmente são os somatórios dos MIF de cada compartimento, que resultaram em 234.704 abiótico; 9.180 biótico; 30.501.998 ar; 80.957 água e de 15.859 para a erosão. Assim, foi possível avaliar o MIT (ver Eq. 4) por meio da somatória destes MICs.

Tabela 5 – Vantagens Ambientais entre as linhas de processo de fios convencionais

Massa de Algodão, compartimentos e MIT	LPA (kg/mês)	LPM (kg/mês)	MET (kg/mês)	Diferença energia elétrica(kWh/kg)	Total MIC (kg/mês)
Massa de Material	50688	47523	3165	133859	
Abiótico	435919	408696	27223	207481	234704
Biótico	146996	137816	9180	0	9180
Ar	345390021	323820428	21569593	8932405	30501998
Água	138886	130212	8674	72284	80958
Erosão	253948	238089	15859	0	15859
MIT					30842699

4.5 Comparando vantagens econômicas com as vantagens ambientais

Os resultados evidenciaram que a LPM possibilitou a otimização de matéria prima (algodão), bem como promoveu uma redução de descarte de resíduos sólidos no meio ambiente de 3.165 kg, denominado de total de material economizado (MTE.), que somada à redução de consumo de energia elétrica, gerou um total de intensidade de massa (MIT) no somatório dos compartimentos de 30.842 ton./mês em relação à LPA.

Para a realização do comparativo entre os ganhos econômicos (GE) com os ganhos ambientais (GA), foi executado o cálculo do índice de ganho econômico (IGE), conforme a Eq. 6, que é o resultado obtido da razão entre o total de material economizado (MTE) e valor dos ganhos econômicos (GE). Assim, a partir dos valores obtidos de 3.165 kg para o MET e de R\$ 83.821,70 por mês para o GE, o resultado do IGE foi de R\$ 0,0368 por kg de material aproveitado.

Já, em relação ao índice de ganho ambiental (IGA) com a utilização da Eq. 5, que é a razão entre o total de intensidade de massa (MIT) igual a 30.842 Ton. / Mês é o (GE) que resultou em R\$ 0,3680 por tonelada de material aproveitado por mês na escala Global. A tabela 6 apresenta os resultados obtidos para os índices de IGE e IGA.

Tabela 6 – Índices de ganhos econômicos e ambientais para as linhas estudadas

Materia prima total economizada - MET (kg/mês)	Ganho econômico mensal (GE)	Índice de ganho econômico (IGE)	Total intensidade de massa - MIT (ton/mês)	Índice de ganho ambiental (IGA)
3165	R\$ 83821,75	R\$ 0,038/kg	30842	R\$ 0,368 / ton

Além disso, foi constatado que a partir do GE, calculado por meio da otimização de matérias primas e pela redução de consumo de energia elétrica, a indústria pesquisada obteve o retorno do investimento em 4,68 anos, dentro do aceitável pela direção. Entretanto em relação ao resultado de IGE, que considerou apenas a diferença de rendimento da matéria prima foi considerado desprezível. Já os ganhos ambientais (GA) permitirão a indústria pesquisada, evitar o descarte 37.980 kg anuais de resíduo sólido classe II no meio ambiente, enquanto que o (IGA) resultará em 0,36 kg de material por real economizado.

5. Conclusão

A aplicação da mudança tecnológica como prática da P+L, proposta como necessidade de inovação, promove vantagens econômicas e ambientais conforme o estudo realizado entre duas linhas de processo de fiação convencional e penteada com diferença de vida útil e defasagem tecnológica entre ambas. Além disso, a adoção de P+L implementou ganhos econômicos (GE) de R\$ 83.821,70 com a otimização das fibras de algodão e redução do consumo de energia elétrica, o que permitiu um período de 4,68 anos para o retorno do investimento. Também, a pesquisa comprova ganho ambiental (GA) para a indústria do segmento têxtil, de acordo mostrado ocorreu uma redução de 37.980 kg anual de resíduo sólido que a indústria deixa de destinar ao meio ambiente, e adicionalmente quando considerado (IGA) em escala global foi obtido um benefício para cada real de 0,36 kg de material não extraído do meio ambiente.

Com isso, a aplicação da P+L em conjunto com a metodologia para a avaliação ambiental e econômica utilizada nesta pesquisa mostra ser viável e uma opção quando do estudo comparativos de linhas de processos desta natureza. Além disso, foi apresentado como um processo produtivo pode se tornar mais limpo e eficiente, seja pela economia das quantidades de matéria prima, pela redução do consumo de energia elétrica ou pelo reaproveitamento intermediário ou pela redução de resíduos, a sua adoção permitiu a indústria a redução de recursos naturais finitos e portanto assegurando padrões de consumo e produção responsáveis para as gerações futuras.

No entanto por ser um estudo de caso único e transversal, sugere-se a aplicação da metodologia em outras fiações e ou áreas do segmento da indústria têxtil afim de esta ser mais abrangente.

Referências

Antonelli, G.C. Aplicação de Redes Neurais Artificiais na Indústria de Fios de Algodão. 2010. 118 f. Tese (Doutorado) - Programa de Doutorado em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá. Maringá.

Caiado, R.G.G., Dias, R.F. de, Mattos, L.V., Quelhas, O.L.G., Leal Filho, W., 2017. Towards sustainable development through the perspective of eco-efficiency: a systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 165, 890-904.

Da Fonseca, Yonara Daltro, 2010. Técnicas de avaliação de investimentos: uma breve revisão da literatura.

De Souza, F.A. Gestão de estoques em indústrias de fios têxteis. 2009. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.

Dobes, v., 2016. An integrated diagnostic tool for identifying and quantifying the opportunities for sustainable consumption and production in industry. *Journal of Cleaner Production*, 135, 567-576.

- Ganzer, P.P., Quintana, C.G., Bertoni, R.B., Rocha, J.M. da, Olea, P.M., 2013. Análise de Gestão Ambiental em uma Indústria de Malhas na Serra Gaúcha. *Global Manager*, 12, 2, 1-16.
- Giannetti, B.F., Bonilla, S.H., Silva, R., Almeida, C.M.V.B., 2008. Cleaner production practices in a medium size gold-plated jewelry company in Brazil: when little changes make the difference. *Journal of Cleaner Production*. 16, 1106-1117.
- Gorini, A.P.F., 2000. Panorama do setor têxtil no Brasil e no mundo: reestruturação e perspectivas. *BNDES setorial*, 12, 17-50.
- Gorini, A.P.F., Siqueira, S.H.G., 1997. O segmento de fiação no Brasil. *BNDES*, Rio de Janeiro.
- Keller, P.F., 2010. Globalização e mudanças na cadeia têxtil brasileira. *Edufma*, São Luiz.
- Kumar, R., 2011. *Research methodology – a step-by-step guide for beginners*. 3. ed. London: Sage.
- Lukman, R.K., Glavic, P., Carpenter, A., Virtic, P., 2016. Sustainable consumption and production – Research, experience, and development: The Europe we want. *Journal of Cleaner Production*, 138, 139-147.
- Mccracken, Grant, 1991. *The long interview*, 5. Sage, Newbury Park.
- Mehler, J.R., 2013. Desafios da Indústria Têxtil e as Demandas de Sustentabilidade. *Diálogos Interdisciplinares*. 2,2,1-25.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 2014. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel> > Acessado em 10 de Abril de 2018.
- Oliveira Neto, G. C., Carvalho Chaves, L.E., Vendrametto, O., 2010. Vantagens econômicas e ambientais na reciclagem de poliuretano em uma empresa de fabricação de borracha. *Exacta*, São Paulo, 8,65-80.
- Oliveira Neto, G.C., Souza, M.T.S., Silva, L.A, Silva, D., 2011. Gestão de resíduos sólidos: um estudo sobre as vantagens ambientais e econômicas da logística reversa em uma empresa de fabricação de vidros. In: SEMEAD - SEMINÁRIO EM ADMINISTRAÇÃO, 14, 2011, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Cidade Universitária. Ensino e Pesquisa em Administração.
- Oliveira Neto, G. C., Souza, S.M., Baptista, A. E., 2014. Cleaner Production Associated with Financial and Environmental Benefits: A Case Study on Automotive Industry. *Advanced Materials Research*, 845, 873-877. PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2013. Disponível em: <http://www.brasilpnuma.org/pordentro/artigos_019.htm>. Acessado em 15 de Outubro de 2017.
- The Global Goals for Sustainable Development. Disponível em: <https://www.globalgoals.org/> > Acessado em 10 de Abril de 2018.
- UNEP – United Nations Environmental Programme, 1990. *Environmental Guidelines for Sand and Gravel Extraction Projects*, UNEP Environmental Management Guidelines.
- UNEP – United Nations Environmental Programme, 2004. *Cleaner production energy efficiency e manual*. Oxford: United Nations Publication.
- Ussui, P.R.S., 2013. Indicadores de sustentabilidade para aplicação no processo de desenvolvimento de produtos na indústria de autopeças.
- Wuppertal, Institute, 2018. Calculating MIPs, resources productivity of products and services. Disponível em: http://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/MIT_2014.pdf > Acessado em 10 de Abril de 2018.
- Yong, J.Y., Klemeš, J.J., Varbanov, P.S., Huisingh, D., 2016. Cleaner energy for cleaner production: modelling, simulation, optimisation and waste management. *Journal of Cleaner Production*, 111, 1-16.
- Yin, R.Y., 2010. Estudo de caso – planejamento e métodos, 4. Bookman, Porto Alegre.