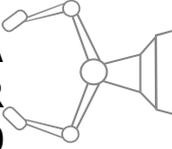


APOIO A TOMADA DE DECISÃO EM UMA INDÚSTRIA DO SETOR *FASHION*: NOVAS PERSPECTIVAS A PARTIR DA SUSTENTABILIDADE E DA INDÚSTRIA 4.0



Mirian Bortoluzzi

mirian_bortoluzzi@ufms.br, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Jhoel Gutierrez

jhoelsg31@gmail.com, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Marcelo Furlan Alves

marcelo.furlan@ufms.br, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Amanda Trojan Fenerich

amanda.fenerich@ufms.br, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Resumo: A indústria *fashion* tem se deparado com novos contextos globais: o advento da indústria 4.0 e o desenvolvimento sustentável. O presente artigo, tem por finalidade apresentar novas perspectivas para tomada de decisão no processo de confecção têxtil com base em modelo de programação linear que inserem conceitos de sustentabilidade e tecnologias 4.0. A partir da técnica de pesquisa quantitativa aplicada neste estudo, é possível entender as limitações da programação linear para o novo contexto empresarial observado atualmente, mostrando as oportunidades de novos modelos mais complexos que auxiliem os gestores na tomada de decisão mais sustentável e tecnológica. Os resultados de pesquisa são: a) apontar as principais interpretações usualmente realizadas pela aplicação da programação linear clássica em sistemas de produção da indústria *fashion* bem como suas limitações; b) inserir indicadores sociais em modelos de programação linear para que se tornem conceitualmente mais sustentáveis; e c) destacar quais as tecnologias 4.0 podem utilizar a programação linear como ferramenta gerencial.

Palavras-chave: Tomada de decisão; Programação linear; Algoritmo Simplex; Indústria *fashion*; Sustentabilidade; Indústria 4.0.

Abstract: *The fashion industry has faced new global contexts: the advent of industry 4.0 and sustainable development. The purpose of this article is to present new perspectives for decision making in the textile manufacturing process based on a linear programming model that include concepts of sustainability and 4.0 technologies. From the quantitative research technique applied in this study, it is possible to understand the limitations of linear programming for the new business context observed today, showing the opportunities for new, more complex models that help managers in more sustainable and technological decision-making. The research results are: a) to point out the main interpretations usually performed by the application of classical linear programming in production*

systems of the fashion industry as well as their limitations; b) inserting social indicators in linear programming models so that they become conceptually more sustainable; and c) highlight which 4.0 technologies can use linear programming as a management tool.

Keywords: *Decision making; Linear Programming; Simplex algorithm; Fashion industry; Sustainability; Industry 4.0.*

Resumen: *La industria de la moda se ha enfrentado a nuevos contextos globales: la llegada de la industria 4.0 y el desarrollo sostenible. El propósito de este artículo es presentar nuevas perspectivas para la toma de decisiones en el proceso de fabricación textil a partir de un modelo de programación lineal que incluye conceptos de sostenibilidad y tecnologías 4.0. A partir de la técnica de investigación cuantitativa aplicada en este estudio, es posible comprender las limitaciones de la programación lineal para el nuevo contexto empresarial observado hoy, mostrando las oportunidades para nuevos modelos más complejos que ayuden a los gerentes en una toma de decisiones más sustentable y tecnológica. Los resultados de la investigación son: a) señalar las principales interpretaciones que suele realizar la aplicación de la programación lineal clásica en los sistemas de producción de la industria de la moda, así como sus limitaciones; b) insertar indicadores sociales en modelos de programación lineal para que sean conceptualmente más sostenibles; y c) destacar qué tecnologías 4.0 pueden utilizar la programación lineal como herramienta de gestión.*

Palabras clave: *Toma de decisiones; Programación lineal; Algoritmo simplex; Industria de la moda; Sustentabilidad; Industria 4.0.*

1. INTRODUÇÃO

O desempenho de empresas no contexto de desenvolvimento sustentável tem sido monitorado e analisado nas últimas décadas sob a perspectiva sustentável de Elkington (1998): crescimento econômico, igualdade social e respeito ao meio ambiente (CANIATO; CRIPPA; MORETTO, 2012). Tanto que a indústria *fashion* tem procurado atender as demandas sustentáveis por meio da ética empresarial e produção responsável (MCNEILL; MOORE, 2015).

Assim, a relação entre consumo, recursos naturais e resíduos é um dos principais desafios enfrentados atualmente pela indústria *fashion* (FLETCHER, 2012). Tal relação vem à luz sob o contexto de desenvolvimento sustentável, o qual tem por objetivo primário satisfazer as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de futuras gerações de satisfazerem as suas necessidades (WCED, 1987).

Vale notar que, a nova agenda global definida pela Organização das Nações Unidas (ONU), a qual estabelece os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), já se tornou foco da indústria têxtil e de confecção brasileira (CNI, 2017). Dentre os objetivos destacados pela confederação das indústrias e os quais as empresas do setor buscarão alcançar estão: o crescimento do emprego e da economia (ODS 8); inovação, infraestrutura e indústria (ODS 9); e, o estabelecimento de consumo e produção responsáveis (ODS 12).

Além disso, a indústria *fashion* é considerada uma das mais proeminentes indústrias da atualidade, seja em quantidade de produção ou no consumo cada vez mais rápido (HU; YU, 2014; JIA *et al.*, 2015). Entretanto, é também uma das indústrias que mais

causam problemas ambientais, principalmente ao gerar poluição no momento da produção e no uso de agentes químicos para tratamento de roupas (PEDERSEN; ANDERSEN, 2015), sendo considerada até mesmo insustentável (JOY *et al.*, 2015). Assim, é importante que as empresas da indústria *fashion* procurem alterar seu perfil estratégico-operacional a fim de alinhá-lo com os conceitos de sustentabilidade (econômico, ambiental e social).

O principal pressuposto desta indústria é que o processo produtivo envolve o uso intensivo de equipamentos e recursos naturais, tendo como restrição os custos produtivos que devem ser baixos (CANIATO; CRIPPA; MORETTO, 2012) a fim de manter as empresas competitivas globalmente (LUEG; PEDERSEN; CLEMMENSEN, 2013). Tanto que Hu e Yu (2014) em seu estudo utilizam fatores como nível de estoque, estimação de distribuição de vendas, custo de penalidades por unidade produzida e custo de transporte por unidade produzida. Esses parâmetros são considerados importantes na análise do processo produtivo de empresas do setor *fashion*, tendo em vista que as tendências de moda se alteram anualmente e até mensalmente, o que pode gerar perdas de estoques ao longo da cadeia produtiva (CHOI; LI, 2015; HU; YU, 2014). As principais consequências de perdas em estoque estão prejuízos não só econômicos, mas também ambientais, como por exemplo, desperdícios de recursos e poluição do ecossistema (LUEG; PEDERSEN; CLEMMENSEN, 2013).

Para alinhar sustentabilidade nas operações e melhorar a tomada de decisão, surgem aliados tecnológicos relacionados à indústria 4.0. Segundo Jabbour *et al.* (2018b) quatro possíveis tecnologias 4.0 podem contribuir para o *Cyber-physical systems*, *The Internet of Things*, *Cloud Manufacturing* e *Additive Manufacturing*. Todas essas tecnologias são orientadas para melhor interação entre equipamentos, dados digitais, consumidores e produtores, formando uma rede conectada em tempo real pela qual informações são geradas com alta confiabilidade (BRUNO, 2017).

Uma vez geradas grandes quantidades informações em tempo reais da cadeia produtiva, torna-se um desafio maior aos gestores a tomada de decisão. Assim, alinhado às tecnologias 4.0, tem-se como ferramenta a programação linear. Baseada na modelagem matemática observada *in loco* e a simulação de eventos baseados em restrições encontradas no sistema produtivo, esta ferramenta é bastante útil para o setor têxtil conforme o estudo de Godinho e Corso (2019). Dessa forma, entende-se que a indústria *fashion* se beneficie de tais conceitos e procure buscar novas alternativas para diminuir suas pegadas ecológicas (PEDERSEN; ANDERSEN, 2015) ao otimizar o processo produtivo e, assim, evitar desperdícios ao longo da cadeia produtiva (JABBOUR *et al.*, 2018b; BRUNO, 2017).

A busca de soluções sustentáveis na indústria *fashion* pode ser observada em vários períodos internacionais. A literatura tem buscado compreender o processo produti-

vo de empresas têxteis por meio de estudos de casos (LUEG; PEDERSEN; CLEMMENSEN, 2013; CANIATO; CRIPPA; MORETTO, 2012), como também a utilização de programação linear, mas com o foco na cadeia de suprimentos e fornecedores (HU; YU, 2014; YANG; HUANG; HUANG, 2011; LI; WONG; KWONG, 2013; OH, JEONG, 2014; JIA *et al.*, 2015). Entretanto, torna-se justificável a utilização de programação linear em empresas de pequeno porte do setor *fashion*, pois também é possível avaliar seus resultados sob a perspectiva sustentável.

Já a temática da indústria 4.0 com sustentabilidade ainda são recentes. A CNI (2017) sugere em seu relatório a inserção de tais conceitos nos processos produtivos do setor têxtil. Bruno (2017) argumenta as formas e os benefícios que o setor pode alcançar ao utilizar novas tecnologias. E Jabbour *et al.* (2018a) sugerem a interação entre sustentabilidade e indústria 4.0, mostrando como cada tecnologia auxilia na gestão de operações sustentáveis. Entende-se assim, que há uma nova perspectiva gerencial na indústria *fashion* e que os modelos de programação linear ainda não contemplam as variáveis de tais conceitos.

Portanto, o objetivo do artigo é propor novas perspectivas teóricas com base nos conceitos de sustentabilidade e indústria 4.0 na aplicação de programação linear para apoio na tomada de decisão gerencial. Para alcançar tal objetivo, buscou-se uma empresa de pequeno porte do setor têxtil situada na cidade de Nova Andradina/MS a qual oferece um portfólio de produtos para aplicar a programação linear como usualmente descrita na literatura, mostrando suas limitações para interpretação de resultados. Assim, é possível compreender o alcance das atuais abordagens de aplicação da programação linear aplicadas aos ambientais fabris e apontar novas perspectivas e ajustes nos modelos para que haja apoio a decisão mais sustentáveis e tecnológicas.

A implicação prática do presente artigo é fornecer um diagnóstico do setor têxtil e confecção, configurando a programação linear uma ferramenta de apoio à tomada de decisão. Dessa forma, as empresas poderão antecipar oportunidades e definir potencialidades para maior assertividade no desenvolvimento de ações que busquem o equilíbrio entre crescimento da atividade industrial e meio ambiente.

Assim, esse artigo encontra-se organizado da seguinte maneira: na seção 2 há a descrição do método de pesquisa empregado bem como as justificativas para a aderência da técnica de pesquisa ao objetivo mencionado; na seção 3 são apresentados o estudo de caso e a estruturação do problema para a construção do modelo matemático a partir da abordagem clássica da programação linear, auxiliando no processo de tomada de decisão; na seção 4 são apresentados os resultados da aplicação do modelo bem como a análise e os efeitos da otimização sob a perspectiva sustentável; e, finalmente, na seção 5 encontram-se as considerações finais.

2. MÉTODO DE PESQUISA

Uma vez que o presente artigo tem por objetivo elaborar um modelo de programação linear com o enfoque de otimizar os recursos produtivos, entende-se que a característica do método de pesquisa é quantitativa baseada em modelos matemáticos, conforme descrito por Bertrand e Fransoo (2002). A relação entre a característica da pesquisa e a aderência com a técnica utilizada, para Dyckhoff (1981), é uma das primeiras e mais utilizadas em gestão de operações. Tanto que Godinho e Corso (2019) também utilizaram a técnica de modelagem e programação linear para otimizar o processo produtivo e maximizar lucro na indústria têxtil.

O presente artigo propõe um modelo de programação linear que possui características descritas por Dyckhoff (1981) e Osaki e Batalha (2014). Uma vez que a empresa pesquisa possui várias restrições de medida em seus produtos, o uso da programação linear contribui para a decisão de gestores em problemas reais (BERTRAND; FRANSOO, 2002). Dessa forma, justifica-se o uso de programação linear para o alcance do objetivo proposto.

As etapas do presente artigo foram baseadas nas etapas descritas por Bertrand e Fransoo (2002):

- a) Identificação do problema de pesquisa baseado na realidade;
- b) Justificativa da técnica de pesquisa empregada;
- c) Coleta de dados a partir da empresa pesquisa;
- d) Desenvolvimento do modelo conforme característica do problema;
- e) Realização de experimentos por meio de *software*;
- f) Apresentação de resultados;
- g) Interpretação de resultados.

Para a etapa 1, o objetivo de pesquisa trata do problema enfrentado pela empresa, a qual visa maximizar a utilização de recursos para o máximo lucro. Desta forma, trata-se de um problema real que pode ser resolvido por programação linear (NASH, 2000). A etapa 2 que trata da justificativa da técnica de pesquisa empregada, tem-se como justificativa para o uso da programação linear uma vez que gestores possuem dificuldades na tomada de decisão quando se deparam com problemas complexos, os quais envolvem amplo número de variáveis (JAHANGIRIAN *et al.*, 2010).

Ainda nesta seção do artigo são descritos o objeto de estudo bem como as etapas de coleta e análise de resultados a fim de justificar as escolhas realizadas durante o estudo. Posteriormente e nas próximas seções do artigo são apresentados a modelagem e

os resultados do estudo, além da interpretação de resultados segundo a perspectiva da sustentabilidade.

Assim, o objeto de estudo foi uma empresa de pequeno porte de confecções de roupas íntimas inaugurada em 2015 em Nova Andradina-MS. A empresa atualmente oferece um portfólio de produtos que se divide em duas linhas de fabricação: a confecção da linha básica e uma linha luxo. Até o momento, a literatura tem pesquisado grandes corporações da indústria *fashion* com diferentes métodos de pesquisa (SHEN, 2014; SHEN; LI, 2015; TURKER; ALTUNTAS, 2014). Dessa forma, este artigo traz novas evidências sobre as operações de pequenas empresas do setor têxtil.

A etapa 3, de coleta de dados, ocorreu durante os meses de novembro e dezembro de 2018. O contato prévio com a empresa possibilitou o agendamento de entrevista com gestor de maneira a buscar a objetividade das respostas do entrevistado. Na entrevista, foi aplicado um roteiro semiestruturado de questões, o que permitiu uma maior liberdade para obter os dados necessários para a formulação do problema.

A partir da entrevista foi possível identificar as características do processo produtivo e dos produtos oferecidos pela empresa. Assim, a empresa fabrica atualmente peça íntima superior e peça íntima inferior em quatro diferentes tamanhos (P, M, G e GG), totalizando oito diferentes produtos. Além disso, há dezoito diferentes acessórios que customizam os produtos, dentre eles: forros de algodão, preenchimento em espuma, etiquetas da marca, alças e argolas, além de diferentes tipos de fios. Vale ressaltar que cada acessório possui uma unidade de medida específica, a qual a empresa trabalha como padrão.

A partir da coleta de dados e observação das características do processo produtivo foi possível modelar o caso estudado conforme a etapa 4. Ao utilizar um o modelo matemático estruturado, é possível resolver o problema por meio dos diversos algoritmos de programação linear presentes na literatura (HU; YU, 2014; OSAKI; BATALHA, 2014; PAGLIARUSSI; MORCNIO; SANTOS, 2017; BUCCO; BORNIA-POULSEN; BANDEIRA, 2017). No caso deste artigo, foi utilizado o algoritmo *Simplex* tal como encontrado na literatura (DANTZIG, 1949, 1963; NASH, 2000; PLOSKAS; SAMARAS; PPATHANASIOU, 2013; TRICHES; KRIPKA; BOSCARDIN, 2015, FILIPPI; MANSINI; STEVANATO, 2017; GODINHO; CORSO, 2019)

A escolha pelo algoritmo *Simplex* se deve ao fato de que ele é considerado um algoritmo de resolução precisa e fortemente empregado na solução de problemas lineares, além de estar disponível em programas computacionais de planilhas eletrônicas, as quais são de fácil acesso as pequenas empresas do setor de confecção. Assim, a etapa 5 pôde ser executada com o uso do *software MS Excel*[®], por meio do *Solver*, um dos muitos suplementos disponibilizados em sua versão básica.

A seguir são apresentados o modelo elaborado para o caso e os resultados obtidos presentes na etapa 6 da descrição do método. E por fim, a etapa 7 que consiste em analisar as limitações da programação linear tal como efetuado e indicar novas perspectivas de sustentabilidade e indústria 4.0 a futuros modelos.

3. CONSTRUÇÃO DO MODELO A PARTIR DA CONCEPÇÃO CLÁSSICA DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

Para a construção do modelo, primeiramente foram tabulados os dados coletados a partir da entrevista com o gestor da empresa. A Tabela 1 e a Tabela 2 mostram as quantidades de materiais e suas respectivas unidades de medidas para cada um dos oito produtos analisados neste artigo. Estes dados são a base para a formulação das equações de maximização de lucro e restrições presentes no processo produtivo, conforme a elaboração do método *Simplex* presente na literatura (DANTZIG, 1949, 1963; NASH, 2000; GODINHO; CORSO, 2019). As variáveis de decisão do modelo que se referem aos produtos da empresa pesquisados são:

- x_1 : Peça Íntima Superior Tradicional P
- x_2 : Peça Íntima Superior Tradicional M
- x_3 : Peça Íntima Superior Tradicional G
- x_4 : Peça Íntima Superior Tradicional GG
- x_5 : Peça Íntima Inferior Larga Franzida P
- x_6 : Peça Íntima Inferior Larga Franzida M
- x_7 : Peça Íntima Inferior Larga Franzida G
- x_8 : Peça Íntima Inferior Larga Franzida GG

Tabela 1: Variáveis de Decisão e Restrições para Confeção de Peça Íntima Superior

Item no Modelo/Peça Fabricada	Preço de Venda (R\$)	Quantidade de Microfibra (kg)	Quantidade de Bojo (par)	Quantidade de Alça Tipo 10 (m)	Quantidade de Alça Tipo 13 (m)	Quantidade de Viés Taquara (m)	Quantidade de Viés Acabamento (m)	Quantidade de Arco (par)	Quantidade de Fechos Costas (par)	Quantidade de Forro de Algodão (kg)	Quantidade de Regulador de Metal (un)	Quantidade de Argo Metal (un)	Quantidade de Rolo de Linha Preta (rolo)	Quantidade de Fio Preto (gr)	Quantidade de TAG 25mm (un)	Quantidade de Etiqueta Nylon (un)	Quantidade de Etiqueta da Marca (un)
x_1	R\$ 46,00	0,02	1,00	0,94	0,64	0,54	0,00	1,00	1,00	0,000	2,00	2,00	0,02	1,00	1,00	2,00	1,00
x_2	R\$ 46,00	0,02	1,00	0,94	0,68	0,56	0,68	1,00	1,00	0,002	2,00	2,00	0,02	0,99	1,00	2,00	1,00
x_3	R\$ 46,00	0,02	1,00	0,94	0,76	0,59	0,72	1,00	1,00	0,002	2,00	2,00	0,02	0,10	1,00	2,00	1,00
x_4	R\$ 46,00	0,02	1,00	0,94	0,80	0,62	0,80	1,00	1,00	0,002	2,00	2,00	0,02	0,99	1,00	2,00	1,00

Tabela 2: Variáveis de Decisão e Restrições para Confeção de Peça Íntima Inferior

Item no Modelo/Peça Fabricada	Preço de Venda (R\$)	Quantidade de Microfibra (kg)	Quantidade de Viés Acabamento (m)	Quantidade de Forro de Algodão (kg)	Quantidade de Rolo de Linha Preta (rolo)	Quantidade de Fio Preto (gr)	Quantidade de TAG 25mm (un)	Quantidade de Etiqueta Nylon (un)	Quantidade de Etiqueta da Marca (un)
x_5	R\$ 24,00	0,02	1,10	0,00	0,01	0,50	1,00	1,00	1,00
x_6	R\$ 24,00	0,03	1,20	0,00	0,01	0,50	1,00	1,00	1,00
x_7	R\$ 24,00	0,03	1,30	0,00	0,01	0,50	1,00	1,00	1,00
x_8	R\$ 24,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,50	1,00	1,00	1,00

O modelo é dado pelas equações (1) a (23). A Função Objetivo dada pela Equação (1) maximiza a receita da empresa, sendo esta composta pelo somatório das receitas geradas pelas vendas de cada um dos oito produtos:

Função Objetivo:

$$\text{Max } Z = 46x_1 + 47x_2 + 47.5x_3 + 47.9x_4 + 24x_5 + 25x_6 + 26x_7 + 27x_8 \quad (1)$$

Onde Z é o máximo lucro; x_1 a x_8 são as variáveis de decisão que correspondem aos produtos fabricados pela empresa; e os coeficientes da equação correspondem aos preços de venda atualmente praticados.

Já as restrições que compõem o método *Simplex* tratam do fluxo semestral de matéria-prima, com base nas quantidades adquiridas no momento da entrevista em junho de 2018, impondo vinte e duas (22) restrições, em que cada uma representa a disponibilidade de um determinado insumo que pode ser utilizado em uma ou mais peças. As Equações de (2) a (23) tratam destas restrições.

Restrição de Microfibras:

$$0.015x_1 + 0.018x_2 + 0.019x_3 + 0.022x_4 + 0.023x_5 + 0.025x_6 + 0.027x_7 + 0.033x_8 \leq 333.05 \quad (2)$$

Onde x_1 a x_8 são as variáveis de decisão que correspondem aos produtos pesquisados; os coeficientes das variáveis de decisão são quantidade (kg) de microfibras preta usada na fabricação de um produto; e o valor de 333,05 corresponde ao limitante superior em quantidade total (kg) de microfibras comprada no semestre pela empresa.

Em seguida, são apresentadas as restrições da quantidade de bojos presentes nos produtos denominados como Peças Íntimas Superiores. As Equações (3), (4), (5) e (6) têm como limitante superior a quantidade de pares de Bojos comprados para a fabricação dos sutiãs nos diferentes tamanhos, sabendo que cada peça produzida utiliza um par conforme a Tabela 1.

Restrições de Estoque de Bojos adquiridos pela Empresa:

$$x_1 \leq 3000 \quad (3)$$

$$x_2 \leq 2000 \quad (4)$$

$$x_3 \leq 1500 \quad (5)$$

$$x_4 \leq 900 \quad (6)$$

Onde x_1 a x_4 são as variáveis de decisão e os coeficientes da equação são as quantidades de estoque adquiridos pela empresa para o acessório Bolo.

Ainda tratando das restrições das Peças Íntimas Superiores, tem-se as restrições de quantidade de Alças 10 e 14. A empresa adquire estoque deste tipo de acessório semestralmente tendo como medida a quantidade total em metros.

Restrições de Alças 10 e 14:

$$0.94x_1 + 0.94x_2 + 0.94x_3 + 0.94x_4 \leq 6956 \quad (7)$$

$$0.64x_1 + 0.68x_2 + 0.76x_3 + 0.8x_4 \leq 5140 \quad (8)$$

Onde x_1 a x_4 correspondem às variáveis de decisão; os coeficientes de cada variável se referem às quantidades utilizadas de cada tipo de alça no produto; e os coeficientes da equação se referem às quantidades totais compradas para estoque pela empresa pesquisada.

Analogamente, a Equação (9) descreve a quantidade em metros de viés taquara usada na produção de uma peça íntima superior, tendo como limitante superior da equação a quantidade total de acessório comprado pela empresa pesquisada.

Restrições de Viés Taquara:

$$0.54x_1 + 0.56x_2 + 0.59x_3 + 0.62x_4 \leq 201 \quad (9)$$

Onde x_1 a x_4 se referem às variáveis de decisão; os coeficientes das variáveis de decisão se referem às quantidades usadas deste tipo de acessório quando a peça é produzida; e o coeficiente da equação se refere à quantidade total adquirida como estoque pela empresa.

A Equação (10) descreve a quantidade de viés de acabamento usada na produção em ambos os tipos de produtos, peças íntimas superiores e inferiores, tendo como limitante superior a quantidade total de material comprado pela empresa.

Restrições de Viés de Acabamento:

$$0.64x_1 + 0.68x_2 + 0.72x_3 + 0.8x_4 + 1.1x_5 + 1.2x_6 + 1.3x_7 + 1.3x_8 \leq 14655 \quad (10)$$

Onde x_1 a x_8 são as variáveis de decisão; os coeficientes que acompanham as variáveis são as quantidades em metros utilizadas para cada tipo de peça fabricada; e o coeficiente ao final da equação trata da quantidade total adquirida pela empresa e contida em seu estoque.

A Equação (11) trata da restrição relativa à quantidade de fecho de costas para as peças íntimas superiores fabricadas. Essa restrição tem como limitante superior a quantidade de pares de fechos comprados para a fabricação de tais peças, tendo em vista que cada uma das peças, independentemente do tamanho, utiliza uma unidade de fecho conforme a Tabela 1.

Restrições de Fecho de Costas:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \leq 7400 \quad (11)$$

Onde x_1 a x_4 se referem às peças íntimas superiores fabricadas e o coeficiente ao final da equação é relativo à quantidade total de fechos comprados pela empresa e mantidos em estoque.

Da mesma forma, as Equações (12) e (13) apresentadas abaixo tratam da quantidade de reguladores e argolas adicionadas às peças íntimas superiores fábricas pela empresa em estudo. Ainda na equação, tem-se como limitante superior à quantidade de reguladores e argolas comprados pela empresa e mantidas em estoque.

Restrições de Reguladores e Argolas:

$$2x_1 + 2x_2 + 2x_3 + 2x_4 \leq 14800 \quad (12)$$

$$2x_1 + 2x_2 + 2x_3 + 2x_4 \leq 14800 \quad (13)$$

Onde x_1 a x_4 são as variáveis de decisão; os coeficientes que acompanham as variáveis tratam de duas unidades de reguladores e argolas por peça íntima superior fabricada; e os coeficientes ao final das equações apresentadas se referem às quantidades em estoque deste tipo de acessório.

A Equação (14) descreve a quantidade em gramas que são utilizadas de um rolo de linha preta para a fabricação de uma peça íntima, seja superior ou inferior, conforme a Tabela 1 e Tabela 2. Ainda, tem-se como limitante superior da equação a quantidade em gramas de rolos de linha comprados e mantidos em estoque pela empresa.

Restrições de Rolo de Linha Preta:

$$0.023x_1 + 0.023x_2 + 0.023x_3 + 0.023x_4 + 0.011x_5 + 0.011x_6 + 0.011x_7 + 0.011x_8 \leq 255.45 \quad (14)$$

Onde x_1 a x_8 são as variáveis de decisão; os coeficientes que acompanham as variáveis de decisão são as quantidades utilizadas para a fabricação de cada tipo de peça; e o coeficiente ao final da equação se refere à quantidade total de rolos de linha preta mantidos em estoque pela empresa.

A Equação (15) descreve a quantidade em gramas de fio preto usada na fabricação de uma peça íntima conforme a Tabela 1 e Tabela 2, tendo como limitante superior a quantidade total em gramas de fio preto comprados pela empresa.

Restrições de Fio Preto:

$$x_1 + 0.991x_2 + 0.991x_3 + 0.991x_4 + 0.496x_5 + 0.496x_6 + 0.496x_7 + 0.496x_8 \leq 11204.4 \quad (15)$$

Onde x_1 a x_8 são as variáveis de decisão; os coeficientes que acompanham as variáveis de decisão tratam das quantidades em gramas de fio preto usadas em cada tipo de produto fabricado; e o coeficiente ao final da equação trata da quantidade em gramas deste material pela empresa.

As Equações (16), (17) e (18) tratam das restrições relativas às quantidades de *Tag* 25mm de *Nylon* e *Etiquetas Bordadas* presentes em todos os tipos de peças íntimas fabricadas. Nas equações, pode-se observar as quantidades utilizadas em cada tipo de peça conforme as Tabelas 1 e 2.

Restrições de Tag 25mm e Etiquetas Bordadas:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 \leq 15150 \quad (16)$$

$$2x_1 + 2x_2 + 2x_3 + 2x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 \leq 22550 \quad (17)$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 \leq 15150 \quad (18)$$

Onde x_1 a x_8 são as variáveis de decisão; os coeficientes das variáveis de decisão se referem às quantidades utilizadas em cada peça íntima fabricada; e os coeficientes ao final de cada equação se referem às quantidades adquiridas pela empresa e mantidas em estoque.

A Equação (19) refere-se à quantidade em quilos de forro de algodão preto usada na fabricação de uma peça íntima inferior. Ainda, a equação tem como limitante superior a quantidade total em quilos de forro de algodão preto comprada no semestre pela empresa em estudo.

Restrições de Forro de Algodão:

$$0.002x_5 + 0.002x_6 + 0.002x_7 + 0.002x_8 \leq 15.5 \quad (19)$$

Onde x_5 a x_8 se referem às variáveis de decisão; os coeficientes que acompanham as variáveis tratam das quantidades em quilograma de forro de algodão utilizada na peça fabricada; e o coeficiente no valor de 15,5 se refere à quantidade total adquirida pela empresa e mantida em estoque.

Por último, as Equações (20), (21), (22), (23) descrevem as máximas quantidades de peças íntimas inferiores que podem ser produzidas pela empresa.

Restrições de Capacidade para Produção de Peças Íntimas Inferiores:

$$x_8 \leq 750 \text{ (20)}$$

$$x_7 \leq 3000 \text{ (21)}$$

$$x_6 \leq 3000 \text{ (22)}$$

$$x_5 \leq 1000 \text{ (23)}$$

Assim, tem-se o modelo de programação linear elaborado com as equações de função objetivo e restrições para cada item fabricado pela empresa em estudo. Neste momento, faz-se necessário apresentar os resultados e, posteriormente, analisar a construção do modelo e suas limitações segundo a ótica da sustentabilidade.

3.1. Apresentação dos Resultados do Modelo Elaborado

Pela análise dos resultados, inicialmente observa-se que o modelo indica a quantidade máxima de $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7,$ e x_8 a serem produzidas são 3000, 2000, 1500, 900, 1000, 3000, 3000 e 950 unidades, respectivamente. Em decorrência disso, a função objetivo demonstra que a margem de contribuição total máxima, em função do mix de produtos definido, é de R\$ 545,220.00, conforme Figura 1.

Figura 1 – Modelagem do problema no software *MS Excel*®.

FUNÇÃO OBJETIVO		Coeficientes das Variáveis							
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	
Variável ideal	3000	2000	1500	900	1000	3000	3000	750	
Z =	545110								

Resolver

RESTRIÇÕES	Coeficientes das Variáveis								Constante	
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	LHC	RHC
Nº1	0.015	0.018	0.019	0.022	0.023	0.023	0.027	0.033	333.05	1610
Nº2	1	0	0	0	0	0	0	0	3000	3000
Nº3	0	1	0	0	0	0	0	0	2000	2000
Nº4	0	0	1	0	0	0	0	0	1500	1500
Nº5	0	0	0	1	0	0	0	0	900	900
Nº6	0.94	0.94	0.94	0.94	0	0	0	0	6956	22560
Nº7	0.64	0.68	0.76	0.8	0	0	0	0	5140	19000
Nº8	0.54	0.56	0.59	0.64	0	0	0	0	4201	15150
Nº9	0.64	0.68	0.72	0.8	1.1	1.2	1.3	1.3	14655	69820
Nº10	1	1	1	1	0	0	0	0	7400	24000
Nº11	2	2	2	2	0	0	0	0	14800	48000
Nº12	2	2	2	2	0	0	0	0	14800	48000
Nº13	0.023	0.023	0.023	0.023	0.011	0.011	0.011	0.011	255.45	1060
Nº14	1	0.991	0.991	0.991	0.496	0.496	0.496	0.496	11204.4	46643
Nº15	1	1	1	1	1	1	1	1	15150	57000
Nº16	2	2	2	2	1	1	1	1	22550	74000
Nº17	1	1	1	1	1	1	1	1	15150	57000
Nº18	0	0	0	0	0.002	0.002	0.002	0.002	15.5	52
Nº19	0	0	0	0	0	0	0	1	750	750
Nº20	0	0	0	0	0	0	1	0	3000	3000
Nº21	0	0	0	0	0	1	0	0	3000	3000
Nº22	0	0	0	0	1	0	0	0	1000	1000

Após os resultados do modelo apresentado, é realizado uma análise de sensibilidade para verificar o comportamento da solução do problema ao modificar um de seus parâmetros. A Análise de Sensibilidade é um importante modelo de desenvolvimento, validação e otimização (ODOKI, 2002).

A Tabela 3 apresenta as informações referente as possíveis mudanças nos coeficientes das variáveis de decisão ($x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$, e x_8). Observa-se inicialmente o valor final de cada item, representando a quantidade de cada item indicado para produção, atendendo às restrições apresentadas. No campo “Custo Reduzido”, observa-se uma quantidade igual a zero, ou seja, todos os itens são produzidos, o que não é possível um aumento da margem de contribuição, uma vez que todos os itens a serem confeccionados já têm uma contribuição para a viabilidade da produção.

Tabela 3: Análise de Sensibilidade – Custo Reduzido

Variáveis	Final	Reduzido	Objetivo	Permitido	Permitido
	Valor	Custo	Coefficiente	Aumentar	Reduzir
x_1	3000	0	46	1E+30	46
x_2	2000	0	47	1E+30	47
x_3	1500	0	47.5	1E+30	47.5
x_4	900	0	47.9	1E+30	47.9
x_5	1000	0	24	1E+30	24
x_6	3000	0	25	1E+30	25
x_7	3000	0	26	1E+30	26
x_8	750	0	29	1E+30	29

Fonte: Autores

A Tabela 4 apresenta as informações referentes às restrições do modelo, sendo possível analisar as alterações que as constantes das restrições podem sofrer. A Tabela 4 apresenta que as restrições N°2, N°3, N°4, N°5, N°19, N°20, N°21 e N°22. Para tais restrições, observa-se na Tabela 4 o campo do valor final a quantidade disponível dos recursos de todas as restrições do modelo.

Tabela 4: Análise de Sensibilidade – Preço Sombra

Restrição	Final	Sombra	Restrição	Permitido	Permitido
	Valor	Preço	Lateral R.H.	Aumentar	Reduzir
Nº1 LHC	333.05	0	1610	1E+30	1276.95
Nº2 LHC	3000	46	3000	16600	3000
Nº3 LHC	2000	47	2000	16600	2000
Nº4 LHC	1500	47.5	1500	16600	1500
Nº5 LHC	900	47.9	900	16600	900
Nº6 LHC	6956	0	22560	1E+30	15604
Nº7 LHC	5140	0	19000	1E+30	13860
Nº8 LHC	4201	0	15150	1E+30	10949
Nº9 LHC	14655	0	69820	1E+30	55165
Nº10 LHC	7400	0	24000	1E+30	16600
Nº11 LHC	14800	0	48000	1E+30	33200
Nº12 LHC	14800	0	48000	1E+30	33200
Nº13 LHC	255.45	0	1060	1E+30	804.55
Nº14 LHC	11204.4	0	46643	1E+30	35438.6
Nº15 LHC	15150	0	57000	1E+30	41850
Nº16 LHC	22550	0	74000	1E+30	51450
Nº17 LHC	15150	0	57000	1E+30	41850
Nº18 LHC	15.5	0	52	1E+30	36.5
Nº19 LHC	750	29	750	18250	750
Nº20 LHC	3000	26	3000	18250	3000
Nº21 LHC	3000	25	3000	18250	3000
Nº22 LHC	1000	24	1000	18250	1000

Fonte: Autores

Na terceira coluna da Tabela 4 apresenta-se o “Preço Sombra”, o qual é a quantidade pela qual a função objetivo é alterada, dado um incremento de uma unidade na constante de restrição, assumindo que todos os outros coeficientes e constantes permaneçam inalterados. No caso em questão, o preço sombra da variável (x_2) em “kg” indica o valor de 46. Isso significa que, caso a empresa disponha de mais 1kg de microfibras pretas usadas na fabricação dos itens produzidos, a margem de contribuição total irá aumentar em R\$ 46,00. Entretanto, este aumento não é infinito, uma vez que o campo “Permitido Aumentar” apresenta o valor de 16600 unidades. Ainda neste mesmo campo do relatório de sensibilidade, observa-se a variável “Permitido Reduzir” apresentando o valor de 3000. Da mesma forma, para cada 1kg de microfibras que deixa de ser utilizada, a margem de contribuição total será diminuída deste valor. Para as demais restrições o comportamento das variáveis tem o mesmo comportamento quanto ao preço sombra para as restrições Nº3, Nº4, Nº5, Nº19, Nº20, Nº21 e Nº22.

Quanto às demais restrições N°1, N°6, N°7, N°8, N°9, N°10, N°11, N°12, N°13, N°14, N°15, N°16, N°17 e N°18 estes são recursos não escassos, ou seja, se houver um aumento de uma unidade desses não haverá alteração na receita máxima, pois esses recursos têm um saldo excedente. A Tabela 5 apresentam a análise do relatório de respostas referindo as variáveis do modelo, ou seja, as variáveis x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , x_5 , x_6 , x_7 , e x_8 a serem produzidas. Nesse caso, o valor final indica a quantidade ótima de cada item a ser produzido, visando maximizar a margem de contribuição total do item a ser vendido, considerando a restrições apresentadas.

Tabela 5: Análise do Relatório de Resposta - Variáveis

Variáveis	Valor Original	Valor Final	Número Inteiro
x_1	3000	3000	Conting.
x_2	2000	2000	Conting.
x_3	1500	1500	Conting.
x_4	900	900	Conting.
x_5	1000	1000	Conting.
x_6	3000	3000	Conting.
x_7	3000	3000	Conting.
x_8	750	750	Conting.

Fonte: Autores

A Tabela 6 apresenta a análise do relatório de respostas referentes às restrições observadas no modelo estruturado. A expressão “Associação” indica que a restrição foi plenamente satisfeita, ou seja, todo o recurso disponível foi utilizado no processo de confecção, não apresentando, portanto, margem de atraso, enquanto a expressão “Não-associação” indica que nem todas os recursos foram considerados para a confecção dos itens produzidos. Analogamente, o campo “Margem de Atraso” indica que não foram consideradas para a confecção dos itens as seguintes quantidades 1276.95, 15604, 13860, 10949, 55165, 16600, 33200, 33200, 804.55, 35438.6, 41850, 51450, 41850 e 36.5 correspondentes aos recursos das restrições N°1, N°6, N°7, N°8, N°9, N°10, N°11, N°12, N°13, N°14, N°15, N°16, N°17 e N°18 respectivamente na confecção dos itens, em função da otimização realizada considerando as restrições apresentadas.

Tabela 6: Análise do Relatório de Resposta - Restrições

Restrição	Valor da Célula	Status	Margem de Atraso
Nº1 LHC	333.05	Não-associação	1276.95
Nº2 LHC	3000	Associação	0
Nº3 LHC	2000	Associação	0
Nº4 LHC	1500	Associação	0
Nº5 LHC	900	Associação	0
Nº6 LHC	6956	Não-associação	15604
Nº7 LHC	5140	Não-associação	13860
Nº8 LHC	4201	Não-associação	10949
Nº9 LHC	14655	Não-associação	55165
Nº10 LHC	7400	Não-associação	16600
Nº11 LHC	14800	Não-associação	33200
Nº12 LHC	14800	Não-associação	33200
Nº13 LHC	255.45	Não-associação	804.55
Nº14 LHC	11204.4	Não-associação	35438.6
Nº15 LHC	15150	Não-associação	41850
Nº16 LHC	22550	Não-associação	51450
Nº17 LHC	15150	Não-associação	41850
Nº18 LHC	15.5	Não-associação	36.5
Nº19 LHC	750	Associação	0
Nº20 LHC	3000	Associação	0
Nº21 LHC	3000	Associação	0
Nº22 LHC	1000	Associação	0

Fonte: Autores

As Tabelas 5 e 6 apresentam os dois grupos de análise. Considerando as restrições apresentadas, no relatório ficou evidenciado que o modelo maximizou a margem de contribuição dos itens (R\$ 545,220.00).

4. PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE, INDÚSTRIA 4.0 E PROGRAMAÇÃO LINEAR

Os modelos de programação linear desempenham um papel importante no gerenciamento da produção, na economia, análise envoltória de dados, na pesquisa operacional e em muitas outras aplicações industriais e empresariais (NASSERI; ATTARI; EBRAHIMNEJAD, 2012). Entretanto, vale ressaltar que a aplicação do modelo de programação linear como foi apresentado anteriormente já não satisfaz toda a complexidade da produção e consumo na indústria *fashion* (BRUNO, 2017).

A primeira questão que envolve a complexidade deste setor são as questões ambientais. Vários trabalhos encontrados na literatura aplicam à programação linear sob o conceito de sustentabilidade (HU; YU, 2014; YANG; HUANG R.; HUANG H., 2011; JIA *et al.*, 2015). Esses trabalhos visam adicionar aos modelos indicadores ambientais como forma de introduzir os conceitos de sustentabilidade, tais como emissões de gases do efeito estufa; nível de resíduo sólido gerado, horas de trabalho do colaborador entre outros. Este ponto é importante, pois, segundo Pagell e Shevchenko (2014), os estudos que envolvem sustentabilidade e otimização de recursos na cadeia, devem considerar o conceito de sustentabilidade a partir dos pilares econômico, ambiental e social.

Assim, questões sociais tornam-se focos importantes na indústria *fashion* (BATTAGLIA *et al.*, 2014). Alguns indicadores sociais deste tipo de indústria, tais como más condições de trabalho, baixos salários, riscos de saúde para os trabalhadores são exemplos destacados por Pedersen e Andersen (2015). Por isso, torna-se pertinente inserir aos modelos de tomada de decisão indicadores que sejam ambientais e também sociais, corroborando assim com Pagell e Shevchenko (2014).

Ainda, este trabalho tem dado especial atenção ao campo teórico da Pesquisa Operacional (PO) referente à abordagem *Indústria 4.0* aplicada às decisões sustentáveis no setor *fashion*. A indústria *fashion* configura-se como um dos setores no qual se desenvolvem sob decisões que integram as dimensões econômica, social e ambiental (CNI, 2017; FLETCHER, 2012). E agora, adiciona-se as questões de tecnologia (BRUNO, 2017).

Sendo assim, o processo de tomada de decisão no gerenciamento das operações na indústria *fashion* ganhou mais um contorno: as novas tecnologias associadas aos processos produtivos. A busca pela redução do uso de recursos naturais, pressuposto da sustentabilidade, ganha a tecnologia como aliada no processo de fabricação (JABBOUR *et al.*, 2018b). Tal como indicado por Bruno (2017), a indústria têxtil está mais complexa o que torna fundamental reduzir estoques por meio de tecnologias 4.0. Portanto, os modelos de programação linear quando aplicados à indústria *fashion* devem contemplar o tripé da sustentabilidade (econômico, ambiental e social) e, agora, questões tecnológicas que melhoram a tomada de decisão dos gestores de operações.

A discussão acerca da relação entre sustentabilidade e indústria 4.0 é recente e tem impulsionado vários estudos (JABBOUR *et al.*, 2018a; BRUNO, 2017; CNI, 2017). Jabbour *et al.* (2018a) indicam que há vários benefícios para as operações industriais quando estas estão alinhadas com as tecnologias 4.0. Já Bruno (2017) relata que as tecnologias 4.0 podem beneficiar a indústria *fashion* quando se olha para as suas operações. Dessa forma, torna-se possível alinhar tais conceitos (sustentabilidade e tecnologias 4.0) com a programação linear na indústria *fashion*.

A indústria *fashion* busca introduzir ao mercado tendências de moda com relativa rapidez e em pequenos lotes (BRUNO, 2017). Por isso, ao se utilizar as tecnologias 4.0, como o *Cyber-physical system*, as empresas poderão melhorar a customização de seu vestuário com informações acuradas (JABBOUR *et al.*, 2018a). É neste ponto que a programação linear entra em cena a fim de permitir o uso correto dos recursos fabris e otimizar o processo produtivo mantendo sua ecoeficiência e rentabilidade.

Já a *The Internet of Things (IoT)* pode contribuir para uma produção mais limpa ao encontrar a demanda de produtos customizados com os níveis de produção existentes sem gerar excessos de estoque produtivo (JABBOUR *et al.*, 2018a). Atualmente, é um desafio para a indústria *fashion* absorver tecnologias 4.0, mesmo já reconhecendo seus benefícios para a diminuição de estoques de produto acabado (BRUNO, 2017). O modelo clássico de programação linear aplicado à empresa estudada neste artigo se restringe às questões operacionais quase não leva em consideração tipos diferentes de demanda, tampouco a customização de produtos. Assim, pode-se considerar um avanço alinhar tais conceitos, sustentabilidade e tecnologias 4.0, ao utilizar a programação linear nessa nova relação.

Outro ponto importante, destacado por Jabbour *et al.* (2018a) é a *Cloud Manufacturing*. Segundo os autores, essa tecnologia permite controlar o consumo de recursos, seja energia, água e matérias-primas. Neste caso, a CNI (2017) ao destacar os objetivos do desenvolvimento sustentável, os quais acredita ser aplicável ao contexto da indústria têxtil, reforçado o objetivo do setor com as questões socioambientais (BATTAGLIA *et al.*, 2014). Assim, buscar a otimização da produção e ainda levar em consideração indicadores ambientais e sociais, torna-se o papel da programação linear uma fonte relevante e atual na resolução de problemas da indústria *fashion*.

Por fim, a utilização de tecnologias 4.0 na cadeia de suprimentos também pode gerar benefícios sustentáveis. Jabbour *et al.* (2018a) diz que o monitoramento em tempo real de indicadores como emissões de CO₂, além de desempenho operacional (planejamento da produção, qualidade, confiabilidade), tornam-se possíveis graças às tecnologias 4.0. Dessa forma, pode-se explorar ainda mais os modelos de programação linear ao incluir novas fontes de informação para a modelagem do sistema em questão. Isso possibilitará o avanço de estudos já iniciados presente em Oh e Jeong (2014), Hu e Yu (2014), entre outros.

Portanto, o uso de tecnologias 4.0 por meio de ferramentas computacionais e aplicação dos algoritmos computacionais, tais como o algoritmo do simplex aplicado neste estudo, podem ganhar novas formas e modelagens, influenciando a tomada de decisão de gestores que buscam resultados sustentáveis para seus negócios. Uma vez que a empresa produzirá uma quantidade ótima de produtos acabados, recursos naturais

poderão ser reutilizados ao se identificar a exata quantidade de resíduos gerados na cadeia produtiva e que retornarão para o processo produtivo. Além disso, a aplicação de programação linear terá o papel de contribuir para a eliminação de más condições de trabalho e salário, ao se conseguir baixo custo e rapidez de atendimento da demanda pela adoção de tecnologias 4.0.

5. CONCLUSÕES

Tendo em vista o objetivo do artigo que foi propor novas perspectivas teóricas com base nos conceitos de sustentabilidade e indústria 4.0 na aplicação de programação linear para apoio na tomada de decisão gerencial, pode-se concluir que estas novas abordagens podem ajudar na elaboração de novos modelos de decisão. O primeiro resultado indica que os modelos de programação linear elaborados com a única função de maximizar o lucro a partir de restrições de custos, já não satisfazem as demandas sociais e ambientais da indústria *fashion*. Dessa forma, o presente artigo pode contribuir com novas formulações matemáticas que insiram indicadores ambientais e sociais, auxiliando a tomada de decisão dos gestores de produção.

Outro resultado diz respeito à complexidade dos sistemas de produção de tal setor que torna necessária a adição de variáveis sociais. Uma vez que o conceito de sustentabilidade está baseado no tripé econômico, ambiental e social, para que seja considerado sustentável segundo a literatura, os modelos devem inserir indicadores relacionados às questões trabalhistas, tais como salário médio, bem-estar do empregado entre outras. Neste contexto, profissionais, pesquisadores e estudantes da área poderão elaborar novos modelos e alinhá-los com outros conceitos inovadores, como as tecnologias de informação.

O último resultado do artigo está relacionado às tecnologias 4.0. De acordo com as novas mudanças tecnológicas e as demandas globais por vestuário, a programação linear pode ser mais explorada nos processos produtivos a partir da adoção deste tipo de tecnologia pelas empresas do setor *fashion*. Entende-se que os gestores de operações tendem a otimizar com mais facilidade seus recursos e a tomarem decisões a partir de modelagem com informações coletadas em tempo real.

Como se trata de um estudo feito a partir de uma análise aplicada em determinado contexto, o de uma empresa de pequeno porte do setor têxtil, as generalizações dos resultados podem não ter totalmente aplicáveis em outras indústrias. Entretanto, novas pesquisas podem propor modelos que contemplem os conceitos de sustentabilidade e indústria 4.0, apontando as limitações para seu uso.

REFERÊNCIAS

- ANSARI, Z. N.; KANT, R. A state-of-art literature review reflecting 15 years of focus on sustainable supply chain management. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2524-2543, 2017.
- BATTAGLIA, M.; TESTA, F., BIANCHI, L., IRALDO, F., FREY, M. Corporate social responsibility and competitiveness within SMEs of the fashion industry: Evidence from Italy and France. **Sustainability**, v. 6, n. 2, p. 872-893, 2014.
- BERTRAND, J. Will M., J.; FRANSOO, Jan C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.
- BRUNO, F. S. **A quarta revolução industrial do setor têxtil e de confecção**: a visão de futuro para 2030. 2. ed. São Paulo: Estação das Letras e Cores, 2017.
- BUCCO, G. B.; BORNIA POULSEN, C. J.; BANDEIRA, D. Li. Desenvolvimento de um modelo de programação linear para o Problema da Construção de Grades Horárias em Universidades. **Gestão e produção**, São Carlos, v. 24, n. 1, p. 40-49, jan./abr. 2017.
- CANIATO, F., CARIDI, M., CRIPPA, L.; MORETTO, A. Environmental sustainability in fashion supply chains: An exploratory case-based research. **International Journal of Production Economics**, v. 135, n. 2, p. 659-670, 2012.
- CHOI, T. M.; LI, Y. Sustainability in fashion business operations. **Sustainability**, Editorial, v. 7, p. 15400-15406, 2015.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **O setor têxtil e de confecção e os desafios da sustentabilidade** / Confederação Nacional da Indústria, Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção – Brasília: CNI, 2017, 102p. Acesso em: 20 de outubro 2019. Disponível em: https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/bb/6f/bb6fdd8d-8201-41ca-981d-deef4f58461f/CNI.pdf.
- DANTZIG, G. Programming of interdependent activities: II, mathematical model. **Econometrica**, v. 3, n. 4, p. 200-211, 1949.
- DANTZIG, G. **Linear programming and extensions**. Princeton: Princeton University Press, 1963.
- DE COSMIS, S.; DE LEONE, R. The use of grossone in mathematical programming and operations research. **Applied Mathematics and Computation**, v. 218, n. 16, p. 8029-8038, 2012.
- DE JORGE MORENO, J.; CARRASCO, O. R. Efficiency, internationalization and market positioning in textiles fast fashion: The Inditex case. **International Journal of Retail & Distribution Management**, v. 44, n. 4, p. 397-425, 2016.
- DE SOUSA JABBOUR, A. B. L.; JABBOUR, C. J. C.; FOROPON, C.; GODINHO FILHO, M. When titans meet—Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. **Technological Forecasting and Social Change**, n. 132, p. 18-25, 2018.

DYCKHOFF, H. A new linear programming approach to the cutting stock problem. **Operations Research**, v. 29, n. 6, p. 1092-1104, 1981.

ELKINGTON, J. Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business. **Environmental Quality Management**, v. 8, n. 1, p. 37-51, 1998.

FILIPPI, C.; MANSINI, R.; STEVANATO, E. Mixed integer linear programming models for optimal crop selection. **Computers & Operations Research**, v. 81, p. 26-39, 2017.

FLETCHER, K. Durability, fashion, sustainability: The processes and practices of use. **Fashion Practice**, v. 4, n. 2, p. 221-238, 2012.

GODINHO, I. P.; CORSO, L. L. Aplicação da Programação Linear para otimizar o mix de produtos em uma empresa de confecção. **Scientia cum Indústria**, v. 7, n. 2, p. 83-87, 2019.

HILLER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

HU, Z. H.; LI, Q.; CHEN, X. J.; WANG, Y. F. Sustainable rent-based closed-loop supply chain for fashion products. **Sustainability**, v. 6, p. 7063-7088, 2014.

HU, ZHI-HUA; YU, XIAO-KUN. Optimization of fast-fashion apparel transshipment among retailers. **Textile Research Journal**, v. 84, n. 20, p. 2127-2139, 2014.

JAHANGIRIAN, MOHSEN; ELDABI, T, NASEER, A., STERGIOULAS, L. K.; YOUNG, T. Simulation in manufacturing and business: A review. **European Journal of Operational Research**, v. 203, n. 1, p. 1-13, 2010.

JIA, P.; GOVINDAN, K.; CHOI, T. M.; RAJENDRAN, S. Supplier selection problems in fashion business operations with sustainability considerations. **Sustainability**, v. 7, n. 2, p. 1603-1619, 2015.

JOY, A; SHERRY JR, J. F.; VENKATESH, A.; WANG, J.; CHAN, R. Fast fashion, sustainability, and the ethical appeal of luxury brands. **Fashion Theory**, v. 16, n. 3, p. 273-295, 2012.

LACHTMARCHER, G. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisão**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LI, Zhi; WONG, W. K.; KWONG, C. K. An integrated model of material supplier selection and order allocation using fuzzy extended AHP and multiobjective programming. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2013, Article ID 363718, 26 fev. 2013.

LOPES DE SOUSA JABBOUR, A. B.; JABBOUR, C. J. C.; GODINHO FILHO, M.; ROUBAUD, D. Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. **Annals of Operations Research**, v. 270, p. 273-286, 2018.

LUEG, R.; PEDERSEN, M. M.; CLEMMENSEN, Søren Nørregaard. The role of corporate sustainability in a low-cost business model—A case study in the Scandinavian fashion industry. **Business Strategy and the Environment**, v. 24, n. 5, p. 344-359, 2015.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MCNEILL, L.; MOORE, R. Sustainable fashion consumption and the fast fashion conundrum: fashionable consumers and attitudes to sustainability in clothing choice. **International Journal of Consumer Studies**, v. 39, n. 3, p. 212-222, 2015.

NASH, J. C. The (Dantzig) simplex method for linear programming. **Computing in Science and Engineering**, v. 2, n. 1, p. 29-31, 2000.

NASSERI, S. H.; ATTARI, H.; EBRAHIMNEJAD, A. Revised simplex method and its application for solving fuzzy linear programming problems. **European Journal of Industrial Engineering**, v. 6, n. 3, p. 259, 2012.

ODOKI, J. B. **Implementation of sensitivity and scenario analysis in HDM-4**. International Study of Highway Development and Management, University of Birmingham, UK, 2002.

OH, J.; JEONG, B. "Profit analysis and supply chain planning model for closed-loop supply chain in fashion industry." **Sustainability**, v. 6, n. 12, p. 9027-9056, 2014.

OSAKI, M.; BATALHA, M. O. Optimization model of agricultural production system in grain farms under risk, in Sorriso, Brazil. **Agricultural Systems**, v. 127, p. 178-188, 2014.

PAGELL, M.; SHEVCHENKO, A. Why research in sustainable supply chain management should have no future. **Journal of Supply Chain Management**, v. 50, n. 1, p. 44-55, 2014.

PAGLIARUSSI, M. S.; MORCINIO, R.; SANTOS, M. O. Otimização da programação da produção de bebidas à base de frutas por meio de modelos de programação inteira mista. **Gest. Prod.**, v. 24, n. 1, p. 64-77, 2017.

PEDERSEN, Esben Rahbek Gjerdrum; ANDERSEN, Kirsti Reitan. Sustainability innovators and anchor draggers: a global expert study on sustainable fashion. **Journal of Fashion Marketing and Management**, v. 19, n. 3, p. 315-327, 2015.

PLOSKAS, N.; SAMARAS, N.; PAPATHANASIOU, J. A Web-Based Decision Support System Using Basis Update on Simplex Type Algorithms. Decision Support Systems II - Recent Developments Applied to DSS Network Environments. In: HERNANDEZ, JE; LIU, S; DELIBASIC, B; ZARATE, P; DARGAM, F; RIBEIRO, R. **Lecture Notes in Business Information Processing**, v. 164, p. 102-114, 2013.

SHEN, B. Sustainable fashion supply chain: Lessons from H&M. **Sustainability**, v. 6, n. 9, p. 6236-6249, 2014.

SHEN, B.; LI, Q. Impacts of returning unsold products in retail outsourcing fashion supply chain: A sustainability analysis. **Sustainability**, v. 7, n. 2, p. 1172-1185, 2015.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional: uma visão geral**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

TRICHES, J.; KRIPKA, M.; BOSCARDIN, I. Otimização aplicada ao problema de alocação de equipes em uma panificadora. **Exacta – EP**, São Paulo, v. 13, n. 3, p. 377-388, 2015.

TURKER, D.; ALTUNTAS, C. Sustainable supply chain management in the fast fashion industry: An analysis of corporate reports. **European Management Journal**, v. 32, n. 5, p. 837-849, 2014.

YANG, CHANG-LIN, RONG-HWA HUANG; HSIAO-LING HUANG. "Elucidating a layout problem in the fashion industry by using an ant optimisation approach." **Production Planning & Control**, v. 22, n. 3, p. 248-256, 2011.