

MONITORAMENTO E PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA NA CADEIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO: DA PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL À INDÚSTRIA 4.0

Adriana Yumi Sato Duarte, adriana.duarte@ceunsp.edu.br¹

Regina Aparecida Sanches, regina.sanches@usp.br²

Rayana Santiago de Queiroz, rayanasq@gmail.com³

Fabio Mazzariol Santiciolli, fabio.santiciolli@fatec.sp.gov.br⁴

Franco Giuseppe Dedini, dedini@fem.unicamp.br⁵

¹ Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio (CEUNSP), Praça Antônio Vieira Tavares, 73 – Centro – Salto/SP CEP: 13320219

² Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo (USP), Rua Arlindo Bétio, 1000 - Jardim Keralux, São Paulo - SP, 03828-000

³ Laboratório de Tecnologia Têxtil - LTT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Av. Prof. Almeida Prado, 532 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-070

⁴ Faculdade de Tecnologia de Campinas (Fatec), Av Cônego Antonio Rocatto nº 593, Jd Santa Mônica, Campinas – SP, CEP 13082-014

⁵ Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Rua Mendeleev, 200 - CEP 13083-860, Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo, Campinas - SP

Resumo: Cada Revolução Industrial desempenhou um papel fundamental no padrão de produção-consumo de produtos têxteis. A Primeira Revolução Industrial permitiu uma mecanização geral do processo produtivo e estimulou o consumo e a necessidade de renovação constante dos produtos. A Segunda Revolução Industrial introduziu novas fontes de energia, a produção em massa e a revolução dos bens de consumo. Já a Terceira Revolução Industrial é caracterizada pela transição do sistema analógico para o digital e a segmentação dos mercados de consumo. A Quarta Revolução Industrial, conhecida também como Indústria 4.0, consiste na integração de sistemas ciberfísicos e na participação ativa dos consumidores no desenvolvimento de produtos. Dada à complexidade da Cadeia Têxtil e de Confeção (TC), é possível que os sistemas produtivos estejam em diferentes graus de inovação conceitual e tecnológica. Assim, o objetivo desta pesquisa é apresentar um modelo que contemple a projeção das mudanças tecnológicas na produção e no consumo de artigos têxteis a partir da contraposição entre as descrições de patentes, artigos científicos e as tendências e ferramentas da Indústria 4.0. Foi possível inferir que os componentes da Cadeia TC estão em um processo evolutivo, em que há automação de partes das máquinas e processos. As ferramentas tecnológicas que caracterizam a Indústria 4.0 ainda não foram totalmente integradas à produção têxtil, e o desafio para a indústria têxtil será acompanhar essas inovações que repercutem na produção, nos modelos de negócio, nos hábitos de consumo e em aspectos sociais.

Palavras-chave: Cadeia Têxtil e de Confeção, Indústria 4.0, monitoramento tecnológico, prospecção tecnológica.

1. INTRODUÇÃO

A produção têxtil está intrinsecamente relacionada com a origem da humanidade. O vestuário, bem como a alimentação e o abrigo, é considerado uma necessidade humana básica. Além disso, é uma forma de auto-expressão que se torna ainda mais importante para indivíduos e grupos sociais (Ha-Brookshire e Labat, 2015).

A indústria têxtil exerceu e ainda exerce um importante papel nas Revoluções Industriais. A cadeia têxtil e de confecção inclui a obtenção de matéria-prima, fiação, tecelagem e malharia, tingimento e estamparia, confecção e venda (Ülgen e Forslund, 2015).

Desde a Primeira Revolução Industrial, observam-se modificações no binômio produção-consumo e na organização da sociedade. No contexto competitivo da atualidade, as ferramentas tecnológicas, a necessidade de uma resposta rápida na tomada de decisão, a demanda por produtos funcionais e as devidas responsabilidades sociais e ambientais das organizações são princípios fundamentais para o desenvolvimento de novos produtos (Lu *et al*, 2007).

Percebe-se que a Primeira Revolução Industrial permitiu uma mecanização geral das indústrias que estimulou o consumo e a necessidade de renovação dos produtos. A Segunda Revolução Industrial representou a introdução de novas fontes de energia e inaugurou a produção em massa e a revolução dos bens de consumo. Já a Terceira Revolução Industrial caracterizou-se pela transição da tecnologia analógica para a digital e pela segmentação dos mercados de consumo. A Quarta Revolução Industrial, que abrange os dias de hoje, tem como base o ambiente colaborativo e integrativo, a adoção de Sistemas Ciberfísicos e o papel ativo dos consumidores no sistema produtivo (McNeil, 1990; Troxler, 2013; Flacher, 2005 e Anderl, 2015).

Com base nesse contexto, este trabalho tem como objetivo associar a indústria têxtil e as Revoluções Industriais, analisando as principais inovações no sistema de produção e maquinário, os padrões de consumo e a importância dessa atividade industrial na economia por meio do monitoramento e análise de patentes e previsão tecnológica. Para tanto, delimitou-se a análise em quatro sistemas produtivos para fabricação de camisetas 100% algodão penteado: obtenção de fibras têxteis, fiação, malharia e confecção.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Nesta seção serão tratados os temas pilares do presente estudo: as revoluções industriais e as mudanças na produção e consumo de artigos têxteis.

2.1. Primeira Revolução Industrial

A Primeira Revolução Industrial, entre os anos 1760 e 1830, iniciou-se na Grã-Bretanha e se espalhou pela Europa e Estados Unidos (Sabo, 2015). A introdução de máquinas a vapor permitiu a mecanização geral das indústrias que substituiu o método artesanal do “saber-fazer” de um indivíduo para a alta e rápida produção de bens de consumo (Schuh et al, 2014). Foi também neste período em que o carvão começou a substituir outros combustíveis, como a madeira.

A Primeira Revolução Industrial foi particularmente marcante para a indústria têxtil. No ano de 1733, John Kay patenteou a lançadeira voadora impulsionada por uma corda que aumentou o consumo de artigos produzidos em teares. Antes dessa invenção, o fio era transportado manualmente de um lado para outro no tear, fato que limitava a largura do tecido. Entretanto, foi somente no ano de 1760 que a invenção se tornou popular com possibilidade de uso de fios com diferentes cores (McNeil, 1990).

James Hargreaves inventou a *Spinning Jenny* no ano de 1764, uma máquina de fiar que substituiu o método manual de produção de fios. De acordo com McNeil (1990), um acidente com sua roda de fiar e o movimento das mãos dos artesãos foram inspirações que Hargreaves desenvolvesse esta máquina. Após 36 anos da invenção, o número de fusos aumentou mais de quinze vezes (Ribeiro, 1984).

Arkwright apresenta diversas contribuições no maquinário têxtil. Ele patenteou em 1769 a fiandeira hidráulica, uma máquina de fiar que combinava o sistema da *Spinning Jenny* com uma roda d'água e cilindros que possibilitava a obtenção de um fio mais regular. No ano de 1775, ele patenteou a carda, que consistia em um sistema preparatório para iniciar a produção têxtil (McNeil, 1990 e Ribeiro, 1984).

Uma das invenções mais importantes do sistema de fiação foi a introdução do fuso mecânico na fiandeira hidráulica no ano de 1779 que permitiu a produção de um fio de alta qualidade e substituiu a produção doméstica pela produção em massa (Ribeiro, 1984 e McNeil, 1990).

Joseph-Marie Jacquard, em 1801, combinou diferentes mecanismos já existentes para desenvolver o Tear Jacquard. Ele também foi o inventor dos cartões perfurados que, mais tarde, foram considerados a base para os cartões de memória usados nos computadores (McNeil, 1990).

A Primeira Revolução Industrial teve o carvão como a principal fonte de energia e a extração do minério de ferro foi efetivamente explorada no século XIX. Braudel (1996) e Hobsbawm (1986) afirmam que o ferro começou a ser utilizado na fabricação de máquinas somente no final do século; a metalurgia se restringia a produção de ferramentas, pregos, parafusos, barras de ferro, entre outros. Em algumas localidades da Inglaterra, berço da Primeira Revolução Industrial, o maquinário têxtil ainda era fabricado de madeira. As fábricas têxteis eram locais insalubres, sem iluminação, segurança e leis trabalhistas. Conforme Beaud (2005), a industrialização se desenvolveu a custa da massa operária das indústrias têxtil, metalúrgica e de carvão.

2.2. Segunda Revolução Industrial

A transição para a Segunda Revolução Industrial ocorreu entre os anos de 1840 a 1870 e teve como principal catalisador a utilização da eletricidade para a produção em massa que causou um impacto significativo na produtividade da economia no início do século 20 (Schuh et al, 2014 e Sabo, 2015). O exemplo clássico desta forma de produção foi a produção em série implementada por Henry Ford até a década de 1910. Esta revolução começou não apenas nos EUA, mas também na Grã-Bretanha e na Alemanha. Além disso, outro fator importante nesta mudança foi o desenvolvimento tecnológico do Japão. Com isso, o resultado das mudanças foi um rápido desenvolvimento industrial e um maior crescimento da qualidade de vida da população (Sabo, 2015).

A Segunda Revolução Industrial foi marcada pelo aumento na produtividade e na introdução de novas fontes de energia na indústria têxtil. John Thorp criou um novo método de fiação no ano de 1828: o filatório de anéis. A

característica mais importante deste filatório está relacionada com a possibilidade de fiar uma quantidade maior de fios simultaneamente e possibilitar a combinação de várias etapas em um único processo (McNeil, 1990 e Ribeiro, 1984).

Além disso, a primeira máquina de malharia circular foi patenteada em 1816 (McNeil, 1990). Alguns anos mais tarde, em 1847, a malha tubular tornou-se popular devido ao padrão Rib (ou Ribana), ponto mais usado em suéteres, meias, golas e punhos (Frings, 2012). Em 1856, Matthew Townsen inventou a agulha de lingueta que simplificou a produção de malhas. No ano de 1864, William Cotton adaptou uma máquina de propulsão mecânica capaz de tricotar várias meias simultaneamente (McNeil, 1990).

Um dos primeiros bens de consumo produzidos em massa foi a máquina de costura. Apesar de ter sido inventada anteriormente, Isaac Singer patenteou a primeira máquina de costura doméstica no ano de 1851, fato que mudou drasticamente o consumo e produção de roupas. Em consequência, esta máquina de costura foi adaptada para outros segmentos, como o setor calçadista (McNeil, 1990).

2.3. Terceira Revolução Industrial

A Terceira Revolução Industrial, também conhecida como revolução digital, está centrada na mudança da tecnologia analógica para a digital, tendo como símbolo máximo da revolução a invenção dos circuitos integrados que permitem aumentar a capacidade computacional e diminuir os custos de produção. Como consequência, houve uma ampla adaptação da indústria frente à TI e tem um impacto significativo sobre o crescimento do desempenho econômico até os dias de hoje (Schuh et al, 2014).

A tecnologia digital foi guia para esta mudança, assim como a tecnologia de comunicação, em que fábricas adotaram circuitos lógicos digitais marcando o início da era da informação. Os processos de fabricação de produtos complexos só foram gerenciáveis devido à TIC, implantado em cerca de 90% de todos os processos de fabricação industrial (Sabo, 2015). De acordo com Memmi (2014), o uso da (TI) se tornou a base dos canais de comunicação.

A Terceira Revolução Industrial é caracterizada pelo uso de microprocessadores, projeto auxiliado pelo computador (Computer-Aided Design – CAD), fibra óptica, telecomunicação, biogenética e laser (Finkelstein e Newman, 1984).

A customização em massa, em que se produz em grandes quantidades com itens individualizados de acordo com o usuário, foi um desafio para a indústria têxtil (Davis, 1989; Fralix, 2001 e Troxler, 2013). De acordo com Fralix (2001), o ajuste do vestuário e cor são duas limitações para a adoção de customização em massa na indústria têxtil. Por outro lado, algumas soluções tecnológicas, tais como escaneamento, modelagem 3D e estampa digital estão sendo gradualmente adotadas pela indústria têxtil.

2.4. Quarta Revolução Industrial

A Quarta Revolução Industrial, também denominada Indústria 4.0, representa uma mudança profunda na estrutura organizacional das indústrias. Pela primeira vez, uma revolução industrial é avaliada a priori e não ex-post, o que em outras palavras significa uma previsão do que está para acontecer e não uma avaliação do que já se passou (Hermann et al, 2015).

O resultado da Quarta Revolução Industrial será a Fábrica Inteligente, onde Sistemas Ciber-Físicos (*Cyber-Physical Systems* - CPS), a Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) e Big Data são as tecnologias-chave para atingir os objetivos de produção.

Sistemas Ciberfísicos são definidos como sistemas físicos e de engenharia cujas operações são monitoradas, coordenadas, controladas e integradas por um núcleo de computação e comunicação. A interligação entre ambientes cibernético e físico será manifestada em escala nano e em várias escalas de tempo. Os CPS interligam o ambiente físico com a tecnologia da informação ao “ciberificar o físico” e “fisificar o cibernético” (Lee, 2010), possibilitando especificar os subsistemas físicos com o comportamento controlado por software. Já a IoT é uma abordagem para equipar sistemas reais com sistemas incorporados para que se tornem interconectados nos chamados “sistemas inteligentes” (Anderl, 2015).

A troca de dados é a base para a Indústria 4.0. Assim, a quantidade de dados gerados deve ser eficientemente integrada durante o processo de desenvolvimento do produto entre as partes interessadas. O Big Data inclui informações de várias fontes e enfatiza uma mudança na qualidade dos dados e não apenas na quantidade (Chandler, 2015).

No contexto da indústria têxtil, Gloy et al (2013) desenvolveram um sistema autônomo de produção têxtil, que permite uma produção rápida e flexível. Este sistema prevê o uso de tecnologias digitais e sistemas ciberfísicos para que as máquinas se comuniquem entre si e com os operadores informando status e possíveis problemas de funcionamento e manutenção. Dessa maneira, é possível que as máquinas se reconfigurem e adaptem a um novo pedido.

Fazem parte da pesquisa de Gloy et al (2013) o desenvolvimento de um sistema de auto otimização da tensão do urdume na tecelagem plana e um sistema automático de detecção de falhas na fabricação de malhas. Ainda segundo os autores, áreas como têxteis inteligentes, fabricação de tecidos 2D e 3D e têxteis médicos são áreas promissoras para o uso da Indústria 4.0.

Bruno (2016) descreve o futuro da produção e consumo de artigos têxteis com o fim de vantagens do baixo custo no sistema da produção têxtil em países em subdesenvolvidos e em desenvolvimento, uso intensivo de tecnologia ubíqua

nos denominados computadores vestíveis (wearables), novos sistemas de produção (mini-fábricas, fábricas digitais, impressoras 3D) e uso da biotecnologia e nanotecnologia na fabricação de tecidos funcionais.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Os procedimentos metodológicos adotados na presente pesquisa têm caráter predominantemente exploratório, baseado em um estudo de caso cujo principal objetivo é a prospecção tecnológica do setor têxtil.

A delimitação da pesquisa é a fabricação de camisetas 100% algodão penteado. Para tanto, foram determinados quatro sistemas produtivos: obtenção de fibra de algodão, fiação, malharia e confecção. Cada sistema foi detalhado em subsistemas, e cada subsistema foi associado a um ou mais componentes (maquinário, elementos de máquina).

O modelo de prospecção da tecnologia contemplou dois métodos: Monitoramento (*Assessment*), cujo intuito é acompanhar a evolução dos fatores que podem ser agentes de mudança, e Previsão (*Forecasting*), que consiste na projeção das mudanças tecnológicas.

A etapa de Monitoramento Tecnológico teve como base documentos obtidos em bancos de patentes, abrangendo patentes brasileiras e estrangeiras, desde o ano de 2011 até os dias atuais. Na presente pesquisa, foram selecionadas duas bases de dados, uma internacional em língua inglesa (*Google Patents*) e outra brasileira em português (Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI).

Por fim, a Previsão foi realizada com informações históricas e modelagem teórica das tendências (Amparo et al, 2012).

4. RESULTADOS

Esta seção foi dividida em dois tópicos principais: especificação dos sistemas produtivos e componentes e o monitoramento e previsão tecnológica.

4.1. Especificação dos sistemas produtivos e componentes

Os sistemas produtivos têxteis adotados na presente pesquisa são o processamento da fibra de algodão, a fiação, a malharia e a confecção que correspondem aos sistemas produtivos: Obter Fibras Têxteis, Transformar Fibras em Fios, Transformar Fios em Tecidos e Transformar Tecidos em Peças Prontas para Vestir.

Entretanto, devido à complexidade dos sistemas, foi necessário um novo desdobramento em subsistemas para obter um nível maior de detalhamento.

4.1.1 Desdobramento e componentes do sistema produtivo “Obter Fibras Têxteis”

O sistema produtivo para “Obter Fibras Têxteis” engloba as etapas de cultivo do algodão, separação das fibras pós-colheita, eliminação das impurezas das fibras, produção de fardos de algodão e distribuição dos fardos para comercialização.

O cultivo do algodão exige uma ampla gama de máquinas agrícolas que executam tarefas de preparação do solo, distribuição das sementes no solo em uma profundidade e espaçamento específicos e a colheita dos produtos.

Já separação das fibras consiste no uso da Algodoeira e do Descaroçador, máquinas que recebem e separam as fibras da semente de algodão, respectivamente. A eliminação das impurezas das fibras fica a cargo do Limpador.

O enfardamento do algodão é realizado pelos elementos Condensador, Alimentador e Prensa. O Condensador inicia o processo de retirada do ar das fibras e forma uma manta, o Alimentador encaminha as fibras para, finalmente, formar o fardo na Prensa (Ampasul, 2010). Para a distribuição dos fardos de algodão, são necessários o meio de transporte e o sistema de monitoramento.

4.1.2 Desdobramento e componentes do sistema produtivo “Transformar Fibras em Fios”

A transformação das fibras em fios abrange a abertura dos fardos, eliminação de impurezas como cascas e folhas, paralelização, estiramento e torção das fibras, reunião dos fios produzidos e distribuição dos fios (Senai, 2015).

A abertura dos fardos de algodão é realizada na Sala de Abertura e Limpeza, onde são abertos os fardos de algodão para separar as fibras de modo a facilitar a formação do fio. A carda promove o rearranjo individual das fibras para eliminar impurezas e paralelizá-las.

No Passador, as fibras são estiradas e a relação peso/unidade de comprimento é determinada. O conjunto de máquinas Reunideira, Laminador e Penteadeira também compõem o sistema de paralelização das fibras e retirada das fibras curtas. A Maçaroqueira e o Filatório estiram a mecha de fibras e aplicam torção ao fio (Ribeiro, 1984). A distribuição dos fios prontos é realizada pelo meio de transporte e sistema de monitoramento.

4.1.3 Desdobramento e componentes do sistema produtivo “Transformar Fios em Tecidos”

O sistema produtivo “Transformar Fios em Tecidos” tem como base o tecido de malha. O tecido de malha pode ser formado por um só fio (tecimento por trama) ou por vários fios (tecimento por urdume), sendo a laçada o elemento construtivo básico deste tecido (Senai, 2015).

A especificação dos componentes desta função está relacionada com os elementos construtivos da máquina circular monocilíndrica, que produz tecidos de ligamento meia malha ou Jersey simples destinados para a produção de camisetas. Nessa máquina, a formação da malha corresponde à ação dos componentes: guia-fio (responsável por orientar o fio até as agulhas) e frontura (placa de aço onde são alojadas as agulhas). O movimento das agulhas para a formação das malhas é realizado pelo conjunto de componentes: excêntrico, agulhas e platina. Por fim, o mecanismo puxador do tecido enrola o tecido formado para evitar formação de vincos ou quebras (Senai, 2015).

Após o tecido ser construído, é necessário preparar o tecido para o acabamento. Este processo, conhecido como Beneficiamento Primário (preparação para o tingimento), consiste na impregnação do tecido com uma solução química para retirada das impurezas e parafina dos fios que dificultam a absorção dos corantes e pigmentos nas fibras no equipamento denominado Over Flow, no mesmo equipamento, também, é realizado o Beneficiamento Secundário (tingimento). O Beneficiamento Terciário (amaciamento) é realizado no Foulard (Ribeiro, 1984). Em seguida, é feita a secagem do tecido em uma secadora e depois de seco ele é calandrado. A distribuição do tecido pronto fica a cargo dos componentes meio de transporte e sistema de monitoramento.

4.1.4 Desdobramento e componentes do sistema produtivo “Transformar Tecidos em Peças Prontas para Vestir”

O último sistema produtivo da cadeia estudada, “Transformar Tecidos em Peças Prontas para Vestir”, é composto por diversas atividades e componentes. Este sistema contempla as etapas do desenvolvimento da ficha técnica, modelagem, corte, costura e estamparia.

A ficha técnica contém desenhos técnicos, amostra de tecidos, metragem e grade de tamanhos das peças e aviamentos usados e pode ser feita manualmente ou com auxílio de softwares (Manoel e Pereira, 2016).

A modelagem é a execução dos riscos e gradação das peças. Os moldes podem ser criados manualmente ou com auxílio de softwares (Silveira e Silva, 2011).

O corte do tecido engloba o planejamento do corte e corte propriamente dito, havendo a possibilidade de realizar esta etapa de forma manual ou com auxílio de programas de computador e máquinas automáticas. O planejamento do corte requer o conhecimento das características do tecido e o encaixe dos moldes e pode ser executado manualmente ou com auxílios de softwares. Por fim, o corte propriamente dito pode ser executado com auxílio ferramentas elétricas, como serras ou facas, ou com uma máquina automática (Nishida, 2015). A união das peças cortadas fica a cargo da costura realizada pelas máquinas de costura.

A coloração do tecido, denominado também como Beneficiamento Secundário, pode ser feito na superfície total (Tingimento) ou parcial (Estamparia) do substrato têxtil. A estamparia, especificamente a estamparia à quadro, são necessários os quadros e secadores. Um desenho é gravado no quadro e decomposto de acordo com as cores necessárias para a formação da imagem, e a preparação da tela depende da moldura e forma de fixação; a alimentação da máquina é manual e a termofixação é feita por secadores (Senai, 2015 e Ribeiro, 1984).

A finalização das peças corresponde à revisão, inspeção de qualidade e revisão do produto final (Andrade et al, 2015).

4.2 Monitoramento e Previsão Tecnológica dos Componentes

Para a análise das patentes no Monitoramento, foram adotadas as seguintes tipologias de projeto:

- Projeto original: possui alto grau de novidade conceitual e alto grau de complexidade de configuração;
- Projeto variante ou reprojeito: possui baixo grau de novidade conceitual e baixo grau de complexidade na mudança de configuração;
- Projeto adaptativo: possui alto grau de novidade conceitual e baixo grau de complexidade de configuração;
- Projeto de desenvolvimento: possui baixo grau de novidade conceitual e alto grau de complexidade na sua configuração (Fonseca, 2000).

Os componentes do sistema produtivo de “Obter Fibras Têxteis” são classificados como projetos variantes, uma vez que muitas patentes descritas são adaptações de máquinas existentes ou aperfeiçoamento do método. São exemplos dessas adaptações os diversos dispositivos acopláveis às máquinas de preparo de solo, colhedora e alimentador (Bertino, 2013; Klein, 2014; Rylander, 2013; Marchesan, 2016; Silva, 2015 e Orlanda, 2014) e as mudanças na configuração das máquinas (Seki e Balestri, 2017; Henkels, 2015 e Yang, 2013). Já os dispositivos automáticos para auxílio na colheita e descaroçamento manual de algodão (Jun e Liang, 2016 e Xiuyun, 2012) são considerados projetos de desenvolvimento, pois auxiliam na execução de uma função com variáveis complexas sem acrescentar novidades conceituais. Nesta mesma linha de raciocínio estão o uso de robôs para colhedora (Kahani, 2016) e a plataforma robótica para preparo do solo (Cavenders-Bares e Bares, 2016). Ainda nesse sistema, são considerados projetos originais os sistemas de comunicação, controle e monitoramento em tempo real dos meios de transporte (Foster et al, 2013; Santos, 2016 e Ferguson, 2013), por apresentarem alto grau de complexidade e de novidade conceitual.

No sistema produtivo “Transformar Fibras em Fios”, a maioria das patentes descrevem um projeto variante, ao indicar a evolução dos elementos construtivos e dos métodos de execução da função com baixo grau de novidade conceitual; exemplos desse projeto são os sistemas de abertura do fardo de algodão (Huazhong, 2014), o dispositivo

adicional de cardagem (Muller, 2015) e a evolução dos elementos construtivos da maçarqueira (Morandi et al, 2013), filatório (Havliczek, 2013) e foulard (Zhao, 2013). Por outro lado, o sistema de controle de qualidade da Penteadeira (Zhi, 2011) é entendido como um projeto de desenvolvimento, ao apresentar um alto grau de complexidade e baixo grau de novidade conceitual.

As patentes das componentes do sistema produtivo “Transformar Fios em Tecidos” apresentam características de projeto de desenvolvimento (Min, 2013) e projeto variante (Chen, 2011; Gao, 2013 e Mayer Karl, 2012). Além disso, há também exemplos de projeto adaptativo, com mudança conceitual no componente e baixo grau de complexidade, como no caso das patentes de agulha e platina que evitam o acúmulo de fibrilas de algodão (Tian, 2013; Hong, 2016).

Por fim, no sistema produtivo “Transformar Tecidos em Peças Prontas para Vestir”, os componentes são classificados como projeto variante e projeto de desenvolvimento. As patentes dos componentes relacionadas ao projeto variante são as adaptações dos elementos do quadro para estamparia (Sedrez, 2013), secadores (Zonggen, 2012 e Hwa, 2016), mesa de corte (Tong, 2012), máquina de costura (Chen, 2015 e Medeiros, 2015) e ferro de passar (Ong, 2016 e Soares, 2013). Já os projetos de desenvolvimento estão relacionados ao sistema de controle do posicionamento do quadro para estamparia (Xingxing, 2012) e posicionamento das peças de tecido na máquina de costura (Guerreschi, 2016). O projeto de desenvolvimento fica a cargo da mesa de corte automática, cuja complexidade é alta e o grau de novidade conceitual é baixo.

Em termos gerais, percebe-se que há poucos projetos originais dentre os componentes descritos; as patentes analisadas indicam adaptações das máquinas ou adição de componentes no sistema de controle do equipamento. Assim, é notável a importância da previsão tecnológica na determinação de tecnologias que já foram desenvolvidas, mas ainda não são aplicadas em sua totalidade, e na identificação de possíveis novas tecnologias que atendam as demandas da Quarta Revolução Industrial.

A Previsão Tecnológica indica a necessidade de mudanças tecnológicas em todos os sistemas produtivos. Para a obtenção de fibras têxteis, os implementos agrícolas devem obter e gerenciar informações em tempo real das condições atmosféricas, do solo, da qualidade das sementes e insumos para auxiliar o processo de tomada de decisão das ações envolvidas do cultivo até a colheita. Existem patentes que tratam dos sistemas de aquisição e gerenciamento de dados (Curkendall et al, 2006), da transmissão de dados via IoT para o consumidor (Dlott et al, 2008) e do gerenciamento das condições climáticas (Frey, 2013), porém ainda não há um uso extensivo dessas ferramentas nas máquinas agrícolas.

A Indústria 4.0 modificará a organização das fábricas e modelos de negócio. Dois modelos serão amplamente utilizados: a fábrica inteligente e a mini-fábrica. A Fábrica Inteligente tem como princípio a integração entre diversos stakeholders em um ambiente virtual e colaborativo, controle e monitoramento remoto das atividades industriais por meio das cópias virtuais do ambiente físico e uso intensivo de tecnologias ubíquas em dispositivos portáteis. Já as mini-fábricas são baseadas na produção sob demanda, em que a produção depende diretamente da demanda do consumidor. Para a produção de fios e tecidos, o monitoramento remoto das máquinas e das condições ambientais e o uso de QR Code (*Quick Response Code*) e RFID (*Radio-Frequency IDentification* – identificação por radiofrequência) para acesso a dados, são exemplos de componentes adicionais ao maquinário. Vale ressaltar que as informações contidas dos dispositivos de monitoramento estão localizadas em embalagens e etiquetas que serão descartadas nas etapas seguintes da produção têxtil. Assim, é preciso que as informações estejam contidas no fio.

Já a etapa de confecção pode ser reconfigurada em uma mini-fábrica, que engloba os setores de pedidos, modelagem, beneficiamento secundário, corte, costura, acabamento e expedição. Cabe ressaltar que nesta mini-fábrica todos os componentes devem automatizados, sendo necessário um projeto original para cada máquina.

5. CONCLUSÕES

No contexto competitivo da atualidade, o processo produtivo industrial prevê a adoção de ferramentas tecnológicas, a necessidade de uma resposta rápida quanto ao processo de tomada de decisão e a demanda por produtos funcionais. Em termos gerais, o monitoramento tecnológico indicou que o grau de novidade conceitual e de complexidade de configuração dos componentes da Cadeia TC analisada encontram-se em um processo evolutivo, em que há automação de partes das máquinas e processos. Cabe ressaltar que as ferramentas tecnológicas que caracterizam a Indústria 4.0 ainda não foram totalmente integradas à produção, e o desafio para a indústria têxtil é acompanhar essas inovações que irão repercutir não somente na produção, mas também nos modelos de negócio, nos hábitos de consumo e em aspectos sociais. Nota-se que grande parte dos componentes da Cadeia TC encontra-se entre a Segunda e a Terceira Revolução Industrial. Poucos componentes já apresentam integração com ferramentas tecnológicas da Quarta Revolução Industrial, porém esses componentes não estão diretamente relacionados ao processo produtivo têxtil. Ao analisar o desenvolvimento tecnológico ao longo da história da humanidade, fica claro que a Cadeia TC sempre teve papel pioneiro na inovação da produção industrial e na influência do comportamento do consumidor. Entretanto, nas últimas décadas, outros setores acompanharam as inovações tecnológicas, como é o caso da indústria automotiva, enquanto a indústria têxtil permanecia com seu parque industrial. Por este motivo, a previsão tecnológica é uma maneira de responder a defasagem da inovação do setor. Se houver, esta seção deve ser colocada antes da lista de referências.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da CAPES e CNPq.

7. REFERÊNCIAS

- Amparo, K. K. S., Ribeiro, M. C. O and Guarieiro, L. L. N., 2012, “Estudo de caso utilizando mapeamento de prospecção tecnológica como principal ferramenta de busca científica”, *Perspectivas em Ciência da Informação*, v. 17, n. 4, p. 195-209.
- Ampasul – Associação Sul Mato-Grossense dos Produtores de Algodão. 2010, “Manual de orientações técnicas para algodoeiras de Mato Grosso do Sul”, Mato Grosso do Sul, 84p.
- Anderl, R. 2015. “Industrie 4.0 – technological approaches, use cases, and implementation”. *at-Automatisierungstechn.*, v. 63, n. 10, p. 753-765.
- Andrade, R. R, Bezerra, F. M. and Da Cruz Landim, P., 2016, “Cadeia produtiva da moda: panorama e descrição”. *Projetica*, v. 6, n. 3, p. 87-104.
- Aramaki, Y. and Shimosakoda, K. 2013, “Method of and device for controlling fabric take-up in electronic pattern knitting machine”. EP2546401 A1.
- Beaud, M., 2005, “História do Capitalismo: De 1500 aos nossos dias”, 5a edição, Brasiliense.
- Bertino, L. H., 2013, “Implemento Ceifador Enleirador para Culturas Diversas”. BR 10 2012 025615 0 A2.
- Braudel, F., 1996, “Civilização Material, Economia e Capitalismo: séculos XV-XVIII”, Volume 3, Lisboa, Martins Fontes, 1996.
- Bruno, F. S., 2016, “A Quarta Revolução Industrial do setor têxtil e de confecção: a visão de futuro para 2030”, São Paulo: Estação das Letras e Cores, ISBN 978-85-68552-31-5.
- Cavender-Bares, K. and Bares, C. C., 2016, “Robotic platform and method for performing multiple functions in agricultural systems”, U.S. Patent Application n. 15/047,076, 18 fev. 2016.
- Chandler, D., 2015, “A world without causation: big data and the coming of age of posthumanism”, *Millennium: Journal of International Studies*, v. 43, n. 3, p. 833-851.
- Chen, M. C., 2015, “Mecanismo De Alimentação De Máquina De Costura”, BR 10 2014 013621 5 A2.
- Chen, S., 2011, “Improved sinker structure”, CN202298046U.
- Curkendall, L. D., Pape, W. R. and Dolan, A. J., 2006, “Method and system for agricultural data collection and management”, U.S. Patent n. 6,995,675.
- Davis, S. M., 1989, “From “future perfect”: Mass customizing”, *Planning review*, v. 17, n. 2, p. 16-21.
- Dlott, J. W., Rosenberg, H. W., Ohmart, C. P. and Connolly, R., 2008, “Method and system to communicate agricultural product information to a consumer”, U.S. Patent n. 7,440,901.
- Ferguson, D. I. and Dolgov, D. A., 2013, Modifying behavior of autonomous vehicle based on predicted behavior of other vehicles. U.S. Patent n. 8,457,827.
- Finkelstein, J. and Newman, D., 1984, “The third industrial revolution: a special challenge to managers”, *Organizational Dynamics*, v. 13, n. 1, p. 53-65.
- Flacher, D., 2005, “Industrial Revolutions and Consumption: A Common Model to the Various Periods of Industrialization”, Working paper.
- Fonseca, A. J. H., 2000, “Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional”, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis.
- Foster, C. A., Ringwald, J. R., Fitzkee, D. S., Richman, K. S., Osborn, J. H., Brown, T. H., and Posselius, J. H., 2013, “System and method for automatically updating estimated yield values”, U.S. Patent Application n. 13/903,624, 28
- Fralix, M. T., 2001, “From mass production to mass customization”, *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, v. 1, n. 2, p. 1-7.
- Frey, M. M., 2013, “Systems, devices, and methods for environmental monitoring in agriculture”, U.S. Patent Application n. 14/017,182.
- Frings, G. S., 2012, “Moda: do conceito ao consumidor”, Bookman Editora, 471p.
- Gao, M. Z., 2013, Adjustable needle base”, CN202989394 U.
- Gloy, Y.-S., Schwarz, A. and Thomas, G., 2013, “Cyber-physical systems in textile production: the next industrial revolution?”, In: *Proceedings of the 1st International Conference on Digital Technologies for the Textile Industry*, 5-6 September, Manchester – UK.
- Guerreschi, C., 2016, “Aparelho Para O Posicionamento De Peças De Tecido Sobre Máquinas De Costura”, BR 10 2016 005873 2 A2.
- Ha-Brookshire, J. and LaBat, K., 2015, “Envisioning textile and apparel research and education for the 21st century”, *International Textile and Apparel Association – ITAA Monography #11*, 38p..
- Havliczek, J., 2013, “Engrenagem Trocadora De Guia-Fios Para Filatório De Dupla Face Sem Fuso”, PI 1004878-2 A2.
- Henkels, Elimar. Processo De Coleta E Prensagem De Resíduos De Algodão. BR 10 2014 005897 4 A2, 2015.
- Hermann, M., Pentek, T. and Otto, B., 2015, “Design principles for Industrie 4.0 Scenarios: a literature review”, *Working Paper n.01/2015*, Technische Universität Dortmund, 15p.
- Hobsbawn, E. J., 1986, “Da Revolução Industrial Inglesa ao Imperialismo”, 4a edição, Rio de Janeiro, Forense-Universitária.
- Hong, R., 2016, “Knitting machine needle construction prevents the accumulation of cotton”, CN205501563U.
- Huazhong, L., 2014, “Improved fully-automatic unstacking and unpacking system”, CN203667100 U.
- Hwa, K. J., 2016, “Silk screen plate dryer”, KR101661754B1

- Jun, Z. and Liang, X., 2016, "Handheld Automatic Cotton Picker", CN104871731 B.
- Kahani, A., 2016, "Multi-robot crop harvesting machine", U.S. Patent n. 9,475,189.
- Klein, M. R., 2014, "Levantador De Culturas Aplicável Em Uma Plataforma De Corte De Uma Máquina Colhedora", BR 10 2012 026731 4 A2.
- Lee, E.A., 2010, "CPS foundations", In: Proceedings of the 47th Design Automation Conference. ACM, p. 737-742.
- Lu, S. C.-Y, Elma'rachy, W., Schuh, G. and Wilhelm, R. 2007, "A Scientific Foundation of Collaborative Engineering", Annals of the CIRP, vol. 56/2/2007, p. 605-634.
- Manoel, S. C. and Pereira, M. A. 2016, "Normalização de Desenho Técnico para Ficha Técnica de Confeção", In: 4º Congresso Científico Têxtil e Moda – CONTEXMOD, v. 4, n. 1, Santa Catarina.
- Marchesan, J. C., 2016, "Disco Agrícola Para Implementos Agrícolas Para Preparo Do Solo", BR 10 2014 025650 4 A2.
- Mayer Karl Textilmaschinefabrik Gmbh, 2012, "Yarn guide arrangement of a warp knitting machine", DE202012005478U1.
- McNeil, I., 1990, "An Encyclopedia of the History of Technology", London: Routledge, 1081p., ISBN 0-415-013062.
- Medeiros, L. R. R., 2015, "Acessório Para Máquina De Costura", BR 20 2014 012064 0 U2.
- Memmi, D., 2014, "Information technology as social phenomenon", AI & Society, v.30, 207-214p.
- Min, Z., 2013, "Non-winding take-up device for warp knitting machine", CN203411153U.
- Morandi, F., Cattaneo, A., Assenza, R. and Sangaletti, P., 2013, "Sistema Para Detectar Rupturas Da Mecha Em Uma Maçaroqueira", BR 10 2012 012608 7 A2.
- Muller, U. 2015, "Elemento De Cardagem E Carda Circular De Uma Máquina De Cardagem E Máquina De Cardagem", BR 10 2013 006467 0 A2.
- Nishida, N. M., 2015, "Qualidade E A Tecnologia Do Corte Na Indústria De Confeção: Estudo De Caso", Trabalhos de Conclusão de Curso do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Estadual de Maringá.
- Ong, C. K., 2016, "Dispositivo De Passar Roupa A Vapor", BR 11 2013 015661 9 A2.
- Orlanda, F. J. Q., 2014, "Dispositivo Para Aumento Da Faixa De Preparo De Solo", BR 10 2012 004364 5 A2.
- Ribeiro, L. G., 1984, "Introdução à tecnologia têxtil", CETIQT/SENAI.
- Rylander, D. J., 2013, "Ground working machine with a blockage clearing system and method of operation", U.S. Patent n. 8,408,149.
- Sabo, F., 2015, "Industry 4.0 – a comparison of the status in Europe and the USA", Austrian Maschall Plan Foundation, 33p.
- Santos, R. L., 2016, "Sistema Para Controle Monitoramento E Coleta De Dados De Atuadores Embarcados Em Caminhão", BR 10 2015 031811 1 A2.
- Schuh, G., Potente, T., Varandani, R., Hausberg, C. and Franken, B., 2014, "Collaboration moves productivity to the next level", Procedia CIRP 17, p.3-8.
- Sedrez, B. H., 2013, "Processo De Obtenção De Estampa 3d Anáglifo Em Silk Screen", PI 1101219-6 A2.
- Seki, A. S. and Balestrin, L. W. A., 2017, "Plataforma Para Uma Máquina De Colher", BR 10 2015 015922 6 A2.
- Senai – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, 2015, "Tecnologia dos processos têxteis", São Paulo: Senai-SP Editora, 116p.
- Silva, M. N., 2015, "Implemento Agrícola De Preparo De Solo Para Conformação De Camalhões", BR 10 2013 027417 8 A2.
- Silveira, I. and Silva, G., 2016, "Conhecimentos dos modelistas catarinenses e os softwares utilizados nos setores de modelagem do vestuário", ModaPalavra e-Periódico, v. 4, n. 07.
- Soares, E. B. F., 2013, "Ferro De Passar Roupa Com Compartimento Para Ajudar Com Amaciante", MU 9101887-0 U2.
- Tian, J., 2013, "Dustproof latch needle", CN102535000 B.
- Tong, Z. S., 2012, "Textile cutting workbench and cutting machine adopting same", CN202152429U.
- Troxler, P., 2013, "Making the third industrial revolution - the struggle for polycentric structures and a new peer-production commons in the FabLab community", In: J. Walter-Herrmann & C. Büching (Eds.), FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors.
- Ülgen, V. S. and Forslund, H., 2015, "Logistics performance management in textiles supply chains: best-practice and barriers", International Journal of Productivity and Performance Management, Vol. 64 Iss 1 pp. 52 – 75.
- Xingxing, H., 2012, "Positioning method in novel silk screen printing CCD (charge coupled device) image identification", CN102328493A.
- Xiuyun, L., 2012, "Micro hand-operated cotton gin", CN202925156 U.
- Yang, Z., 2013, "Short fiber packer", CN203046287 U.
- Zhao, M., 2013, "Foulard", CN205062446U.
- Zhi, R., 2011, "Device for testing noil rate of combing machine", CN202415781 U.
- Zonggen, Z., 2012, "Full-automatic double-faced silk printing drying all-in-one machine", CN202428761U.

8. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ASSESSMENT AND TECHNOLOGICAL FORECASTING IN THE TEXTILE AND APPAREL INDUSTRY: FROM THE FIRST INDUSTRIAL REVOLUTION TO INDUSTRY 4.0

Adriana Yumi Sato Duarte adriana.duarte@ceunsp.edu.br¹

Regina Aparecida Sanches regina.sanches@usp.br²

Rayana Santiago de Queiroz, rayanasq@gmail.com³

Fabio Mazzariol Santiciolli, fabio.santiciolli@fatec.sp.gov.br⁴

Franco Giuseppe Dedini, dedini@fem.unicamp.br⁵

¹ Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio (CEUNSP), Pç. Antônio Vieira Tavares, 73 – Centro – Salto/SP CEP: 13320219

² Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo (USP), Rua Arlindo Bértio, 1000 - Jardim Keralux, São Paulo - SP, 03828-000

³ Laboratório de Tecnologia Têxtil - LTT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Av. Prof. Almeida Prado, 532 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-070

⁴ Faculdade de Tecnologia de Campinas (Fatec), Av Cônego Antonio Rocatto nº 593, Jd Santa Mônica, Campinas – SP, CEP 13082-014

⁵ Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Rua Mendeleyev, 200 - CEP 13083-860, Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo, Campinas - SP

Abstract. *Each Industrial Revolution played a key role in the production-consumption pattern of textiles. The First Industrial Revolution allowed a general mechanization of the productive process and stimulated consumption and the need for constant renewal of the products. The Second Industrial Revolution introduced new sources of energy, mass production and the revolution of consumer goods. The Third Industrial Revolution is characterized by the transition from analogue to digital and the segmentation of consumer markets. The Fourth Industrial Revolution, also known as Industry 4.0, consists of the integration of cybernetic systems and the active participation of consumers in product development. Given the complexity of the Textile and Apparel Chain, it is possible that productive systems are in different degrees of conceptual and technological innovation. Thus, the objective of this research is to present a model that contemplates the projection of technological changes in the production and consumption of textile articles from the contraposition between the descriptions of patents, scientific articles and the tendencies and tools of Industry 4.0. It was possible to infer that the components of the Textile and Apparel Chain are in an evolutionary process, in which there is automation of parts of the machines and processes. The technological tools that characterize Industry 4.0 have not yet been fully integrated into textile production, and the challenge for the textile industry will be to accompany these innovations that impact on production, business models, consumption habits and social aspects.*

Keywords: *Textile and Apparel Chain, Industry 4.0, technological assessment, technological forecasting.*