

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÊXTIL
CURSO DE ENGENHARIA TÊXTIL

Helmuth Koch Neto

**TECNOLOGIA *BLOCKCHAIN* NO RASTREAMENTO E TRANSPARÊNCIA NA
CADEIA DE SUPRIMENTO TÊXTIL**

BLUMENAU

2022

Helmuth Koch Neto

**TECNOLOGIA *BLOCKCHAIN* NO RASTREAMENTO E TRANSPARÊNCIA NA
CADEIA DE SUPRIMENTO TÊXTIL**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Têxtil do Centro Tecnológico de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil.
Orientador: Prof. Dr. Alexandre José Sousa Ferreira

BLUMENAU

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Koch Neto, Helmuth

Tecnologia blockchain no rastreamento e transparência
na cadeia de suprimento têxtil / Helmuth Koch Neto ;
orientador, Alexandre José Sousa Ferreira, 2022.
65 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,
Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Tecnologia Blockchain. 3.
Cadeia de Suprimentos. 4. Rastreabilidade. 5.
Transparência. I. Sousa Ferreira, Alexandre José . II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Têxtil. III. Título.

Helmuth Koch Neto

**TECNOLOGIA *BLOCKCHAIN* NO RASTREAMENTO E TRANSPARÊNCIA NA
CADEIA DE SUPRIMENTO TÊXTIL**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Têxtil” e aprovado em sua forma final pelo Programa de graduação da Universidade Federal de Santa Catarina

Blumenau, 16 de dezembro de 2022.

Prof^a. Dr^a. Cátia Rosane Lange de Aguiar
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alexandre José Sousa Ferreira
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a. Dr^a. Fernanda Steffens
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Allan Jones
Avaliador
Instituto Federal Rio Grande do Norte

Este trabalho é dedicado aos meus queridos pais *in memoriam*.

AGRADECIMENTOS

A minha família pelo incentivo e por me proporcionar as condições para que eu pudesse realizar esta formação e nunca desistir. Continuam sendo meu alicerce, sempre.

A todos os amigos que fiz nesta jornada e aqueles que me acompanharam torcendo pelo sucesso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Alexandre José Sousa Ferreira por todo o conhecimento compartilhado na graduação, auxílio, atenção e paciência oferecidos na realização deste trabalho.

Ao corpo docente do curso de Engenharia Têxtil e do Campus Blumenau, aos técnicos e demais funcionários que se tornaram parte desta caminhada, seus ensinamentos serão sempre lembrados.

A Universidade Federal de Santa Catarina, pela estrutura oferecida e resiliência inabalável para oferecer um ensino de qualidade todos estes anos e nos anos que virão.

*Chancellor on the brink of second bailout for
banks (The Times, 2009)*

RESUMO

Com a crescente demanda por transparência e sustentabilidade de reguladores, governos e consumidores, a indústria têxtil deve partir para formas mais sofisticadas e transparentes de rastreabilidade de seus insumos e processos. A tecnologia *blockchain* vem para transformar a forma com que se tem acesso e verificação de cada etapa dos processos que envolvem a produção de uma fibra até a confecção de uma vestimenta têxtil. Neste contexto, através de pesquisas bibliográficas e estudos de caso, este trabalho aborda o tema da rastreabilidade com uso da tecnologia *blockchain* de forma teórica, trazendo como a tecnologia se aplica a cadeia de suprimentos e como estas aplicações são colocadas em prática. Conceituando a tecnologia que norteia uma *blockchain*, descrevendo e discutindo a importância da rastreabilidade para a indústria têxtil, abordando formas de funcionamento, vantagens, desvantagens e exemplos teóricos de aplicações dos conceitos e da tecnologia *blockchain* na cadeia de suprimentos têxteis. Os resultados apontam a possibilidade de completa transparência e rastreabilidade de todos os participantes da cadeia de suprimentos, porém, a granularidade de cada rastreamento dependerá das aplicações da tecnologia e das estruturas de cada cadeia de suprimento e seus participantes. Contudo, a tecnologia *blockchain* ainda está apenas começando a ser implementada e deve ser abordada de forma que não deturpe a relação entre os participantes da indústria, mas que também entregue transparência de forma imutável ao consumidor final.

Palavras-chave: Cadeia de Suprimentos. Tecnologia *Blockchain*. Rastreabilidade. Transparência.

ABSTRACT

With the growing demand for transparency and sustainability from regulators, governments and consumers, the textile industry must move towards more sophisticated and transparent forms of traceability of its inputs and processes. Blockchain technology comes to transform the way in which you have access and verification of each step of the processes that involve the production of a fiber to the manufacture of a textile garment. In this context, through bibliographical research and case studies, this work addresses the subject of traceability using blockchain technology in a theoretical way, bringing how the technology applies to the supply chain and how these applications are put into practice. Conceptualizing the technology that guides a blockchain, describing and discussing the importance of traceability for the textile industry, addressing ways of functioning, advantages, disadvantages and theoretical examples of applications of concepts and blockchain technology in the textile supply chain. The results point to the possibility of complete transparency and traceability of all supply chain participants; however, the granularity of each tracking will depend on the technology applications and structures of each supply chain and its participants. However, blockchain technology is still just beginning to be implemented and must be approached in a way that does not distort the relationship between industry participants, but also immutably delivers transparency to the end consumer.

Keywords: Supply chain. Blockchain Technology. Traceability. Transparency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo da cadeia produtiva têxtil	18
Figura 2 - Estrutura de redes e diferenças	24
Figura 3 - Funcionamento simplificado de uma blockchain	25
Figura 4 - Representação de uma blockchain.....	26
Figura 5 - Árvore de Merkel.....	27
Figura 6 - Blockchain aplicada a indústria têxtil.....	31
Figura 7 - Rede descentralizada em blockchain para compartilhamento de informação	33
Figura 8 - Versão simplificada de uma blockchain para CS têxtil com o Varejista como ponto focal	35
Figura 9 - Aplicações da tecnologia blockchain na CS têxtil.....	41
Figura 10 - Interface para geração da chave pública e privada	46
Figura 11 - Transações na Blockchain dentro da CS têxtil	47
Figura 12 - Interface web para realizar transações	47
Figura 13 - Transações realizadas na blockchain piloto.....	48
Figura 14 - Exemplo ilustrativo de FiberCoins sendo distribuídas na CS	51
Figura 15 - Código QR em uma peça de vestuário	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo de aplicações da TBC por magazines/marcas ou produtores de fibras ...	40
Tabela 2 - Tipos de informação compartilhadas e acessadas na <i>TextileGenesis</i>	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ONG - Organização Não-Governamental

SAC - *Sustainable Apparel Coalition*

RFID - Identificação Por Radiofrequência

PRE - Planejamento de Recursos Empresariais

TBC - Tecnologia Blockchain

FEM - Fórum Econômico Mundial

CS - Cadeia de Suprimentos

GCS - Gestão da Cadeia de Suprimentos

UE - União Europeia

ID - Identificação

B2B – *Business-to-business*

FAO – Fornecedor de Algodão Orgânico

FF – Fabricante de Fios

FT – Fabricante de Tecidos

FC – Fabricante de Confeção

VA - Varejista

IOT – *Internet of Things*

Python – Linguagem de programação

HTML – *HyperText Markup Language*

QR - *Quick Response*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Tecnologia Blockchain	16
1.2	Cadeia De Suprimentos	17
1.3	Objetivos.....	19
1.3.1	Objetivo Geral.....	19
1.3.2	Objetivos Específicos	19
1.4	Justificativa	19
1.5	Metodologia.....	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1	SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA TÊXTIL.....	21
2.2	Blockchain	23
2.2.1	Estrutura De Um Bloco	25
2.2.2	Características De Uma Blockchain.....	28
2.2.3	<i>Blockchains</i> Privadas.....	28
2.2.4	Mecanismos de Consenso (<i>Proof of...</i>).....	29
2.2.5	Desvantagens na utilização de uma <i>blockchain</i>	30
3	USO DE TECNOLOGIA <i>BLOCKCHAIN</i> NA CADEIA DE SUPRIMENTOS	
TÊXTIL	31	
3.1	ESTRTUTURA DE UM SISTEMA <i>BLOCKCHAIN</i> na cS têxtil	32
3.1.1	Nível organizacional	32
3.1.2	Nível operacional	36
3.2	IMPLEMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA POR MARCAS E MAGAZINES	38
3.3	ESTUDO DE CASO DA TECNOLOGIA <i>BLOCKCHAIN</i> NA CS TÊXTIL	42
3.3.1	Aplicação da TBC na rastreabilidade e transparência do algodão orgânico.	42

3.3.2	Rastreabilidade de fibras sintéticas utilizando a TBC como sistema de rastreamento e autenticação de transações	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
5	CONCLUSÃO.....	58
5.1	Trabalhos futuros	59
6	REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

Consumidores e governos exercem grande pressão sobre corporações para que estas melhorem a rastreabilidade e sustentabilidade de seus produtos, incluindo preocupações com trabalho infantil, segurança de trabalho, consumo de água, tratamento de produtos tóxicos, desflorestamento, produtos falsificados, entre outros, além de uma crescente demanda para vestimentas produzidas de formas ética e ecologicamente corretas. Um estudo projetado para mensurar impactos sociais e ambientais por toda a indústria têxtil encontrou que existe um grande vão na rastreabilidade de fornecedores na segunda camada da cadeia produtiva que ecoa por toda a cadeia de produção até o consumidor final (GFA e BCG 2017). A indústria têxtil utiliza processos com massiva utilização de recursos naturais e processos químicos, porém, baixos padrões de controle requerem que somente 50% da indústria consiga identificar qual a origem dos produtos fornecidos por produtores da segunda camada, tais como, manufatura, confecção, malharias e tecelagens. Deixando um espaço enorme na rastreabilidade e real sustentabilidade dos processos realizados pela cadeia de suprimentos têxteis (GFA e BCG 2017).

Moda é uma das maiores indústria de consumo do mundo, gerando aproximadamente \$725.5 bilhões de dólares em 2020 (statista.com, 2022) com uma expectativa de crescimento de 9.1% ao ano e um valor de mercado totalizando \$1.164,7 bilhões de dólares em 2025 e é responsável por 9.3% dos empregos mundiais (Fashion United, 2018; Global Fashion Agenda & The Boston Consulting Group, 2017; Morgan, 2015). Em seu relatório anual, a Global Fashion Agenda e The Boston Consulting Group (2017) projetaram que o consumo de vestuário crescerá em até 63%, de 62 milhões de toneladas por dia para 101 milhões de toneladas em 2030. Este crescimento exponencial repercute por toda a cadeia de suprimentos da indústria têxtil e tem impacto direto na sustentabilidade e consumo de recursos naturais da indústria.

Diversas organizações governamentais e ONG's estão trabalhando ativamente para enfrentar as questões ambientais e sociais relacionadas a produção de produtos e vestimentas têxteis. A *Sustainable Apparel Coalition* desenvolveu o índice, Higg Index, para avaliar a sustentabilidade e performance de seus parceiros (SAC, 2022), assim como a Canopy Planet Organization (Canopy, 2022), também tem seu próprio sistema de classificação. Estas avaliações e classificação aumentaram a pressão sobre marcas e varejistas para serem mais

transparentes com seus consumidores sobre a origem e processo produtivo de seus produtos, tais como, H&M, Inditex Zara e NEXT (H&M Group; Inditex; Supplier NEXT, 2022).

Rastreabilidade, como definido pela *United Nations Global Compact and Business for Social Responsibility* (2014) é “a habilidade de identificar e rastrear a história, distribuição, localização e aplicação do produto, partes, ou materiais, para garantir as reivindicações de confiabilidade e sustentabilidade, nas áreas de direitos humanos, trabalhistas (incluindo saúde e segurança), o ambiente e anticorrupção”.

Tecnologias existentes como o código de barras e a identificação por radiofrequência (RFID), são amplamente utilizadas na coleta e armazenamento de dados sobre os produtos, processos e serviços por toda a cadeia produtiva (Kshetri, 2018; Yasar et al., 2020). O Planejamento de Recursos Empresariais (PRE) é um sistema amplamente usado para gravação e processamento de transações na cadeia de suprimentos, com tais sistemas gradativamente migrando para serviços na nuvem (*Cloud Computing*) (Peng, et al, 2014). Entretanto, existem limites para os quais os sistemas tradicionais de rastreamento podem garantir a rastreabilidade dos produtos e processos da cadeia.

Porém, tais sistemas levantam problemas quanto ao controle de identidade e manipulação de dados e são propensos a ataques cibernéticos, além de não serem a prova de adulterações. Devido à natureza dispersa e fragmentada da cadeia de suprimentos têxteis, atuar neste ambiente sem confiança se torna um desafio. A tecnologia de *blockchain* vem sendo reconhecida como tecnologia em potencial para permitir a rastreabilidade de toda a cadeia de suprimentos independentemente de onde se encontra ou em qual etapa no processo produtivo o produto têxtil se encontra, de produção da matéria-prima à venda do produto final ao consumidor no varejo.

1.1 TECNOLOGIA BLOCKCHAIN

A tecnologia *blockchain* (TBC) vem recebendo grande interesse ao redor do mundo, da população geral, empresários e políticos por todos os setores e níveis sociais (Bauman et al., 2016; Ko & Verity, 2016). É considerada a tecnologia líder na fundação da quarta revolução industrial pelo Fórum Econômico Mundial (2017) e é vista como uma tecnologia que pode romper os modelos de negócios e transformar indústrias muito além do que a internet foi capaz de influenciar o mundo globalizado nos seus primórdios.

A TBC emergiu como uma convergência de diversos desenvolvimentos na internet, criptografia, movimento código aberto, compartilhamento de tecnologias par-a-par e o ativismo do movimento *Cyberpunk*. O movimento *Cyberpunk* vêm desde 1980 defendendo privacidade virtual e a ideia de uma sociedade aberta. Em outubro de 2008, um papel branco, “*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*” (Bauman, Lindblom, & Olsson, 2016), foi publicado para a criação de um sistema monetário descentralizado em um fórum *Cyberpunk*, por um usuário identificado como Satoshi Nakamoto. Neste papel Nakamoto criou a fundação na qual toda a tecnologia blockchain pode emergir e alcançar outros setores muito além de um sistema monetário descentralizado.

Em resumo TBC é uma forma de base de dados descentralizada por toda a rede com múltiplos participantes. A rede prove uma maneira de compartilhar informações e transferência de ativos digitais, de forma rápida, segura e rastreável (Ko et al., 2016). O FEM define TBC como “distribuída, não centralizada; aberta, não fechada; inclusiva, não exclusiva; imutável, não alterável e segura”. Além disso toda a informação constante na blockchain é aditável. Qualquer informação guardada na blockchain pode ser qualquer coisa, de um sistema de pagamentos até propriedade intelectual e dados pessoais (Ko et al., 2016).

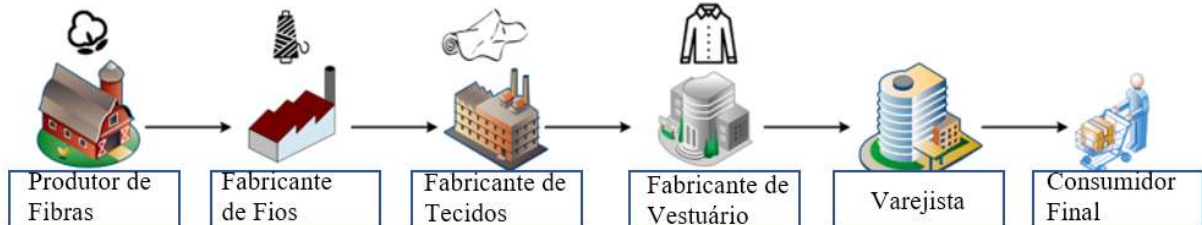
Como visto pelas definições acima, existem várias características inerentes a uma blockchain e ainda mais características nas diversas modalidades e aplicações de cada blockchain. De forma a entender melhor todo o potencial desta tecnologia, este TCC abordará os principais mecânicos por de trás desta tecnologia nos tópicos que seguem.

1.2 CADEIA DE SUPRIMENTOS

A cadeia de suprimentos (CS) têxtil é uma rede de produção com inúmeros materiais e processos permutáveis e complicados. Devido a preferência dinâmica do consumidor e tendências mutáveis, produtos da CS têxtil tem uma baixa *shelf-life* com múltiplos estilos e coleções para cada temporada (Thomassey, 2010). Parceiros na CS têxtil normalmente são situados internacionalmente e a jornada de fibra até o produto acabado pode ser notavelmente longa (Muthu, 2017). Como ilustrado na **Figura 1**, o processo de produção começa com o produtor da fibra, que pode ser o cultivo da fibra natural (algodão, linho, etc) ou a fabricação de uma fibra sintética (poliéster, poliamida, etc). As fibras então são transformadas em fios pelo processo de fiação e posteriormente transformadas em tecidos pelos processos de tecelagem, malharia ou não-tecido. Os tecidos podem então serem comercializados ou

novamente seguir a CS e serem transformados em vestuários, acessórios, produtos cama-mesa-banho ou aplicações diretas no segmento de tecidos inteligentes.

Figura 1 - Exemplo da cadeia produtiva têxtil



Fonte: Adaptado de T.K. Agrawal et al (2021)

A Figura 1 traz uma exemplificação simplista dos processos realizados na CS têxtil. Na realidade, a CS têxtil é uma complexa rede com diversos participantes em cada estágio de produção, cada um requisitando matéria-prima de diferentes participantes, processando-os e dando sequência ao processo produtivo de cada produto.

Além disso, é comum que participantes da CS têxtil terceirizem seu processo produtivo a outros parceiros menores a fim suprir demandas e alcançar metas determinadas pelos varejistas. Grandes varejistas são as empresas com maior foco e demanda na CS têxtil já que estas são responsáveis por alimentar a maior fatia do mercado de consumo têxtil, o setor de vestuário. São as grandes marcas da moda que definem a configuração que a CS têxtil têm, já que estas decidem parceiros baseados em diversos fatores, incluindo baixo custo de mão-de-obra, localização da manufatura, histórico dos fornecedores e por fim o mercado consumidor da região (Kumar et al. 2016).

Devido a esta complexa estrutura e uma CS espalhada por uma grande área geográfica, as corporações enfrentam muitas vezes problemas em monitorar o risco da sustentabilidade da CS têxtil. Elas podem encontrar dificuldade em rastrear todos os fornecedores, contratados e subcontratados (Egels-Zand et al., 2015) esta opacidade na CS permite que fornecedores desviem dos padrões de qualidade, praticados pelas grandes marcas, a fim de, reduzir custos e maximizar lucros de formas que podem ser até ilegais (Guercini et al., 2009). Discrepância informacional e baixa visualização dos parceiros na CS são grandes desafios constantes que podem gerar eventos catastróficos e eventos irreversíveis para a reputação dos participantes da CS. Vale também mencionar que produtos falsificados e retorno de produtos defeituosos empoe um sério risco econômico e a percepção do consumidor em relação ao produto. De acordo com o relatório *OECD/EUIPO* (2019), as indústrias da Europa (UE) enfrentam perdas substanciais devido a falsificação de produtos.

Outro relatório da *Rapid Alert System (RAPEX)*, indica que produtos têxteis estão entre os cinco produtos com maior grau de defeitos, contribuindo para um total de quase 22% do total entre os anos de 2010-2017 (*European Commission, 2018*).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo a pesquisa exploratória de estudos sobre a viabilidade da aplicação da TBC como recurso de rastreabilidade e controle de matéria-prima e produtos na indústria têxtil, fornecendo transparência e responsabilidade aos produtores e consumidores.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Conceituar a tecnologia blockchain;
- b) Descrever a importância da rastreabilidade para o segmento têxtil;
- c) Realizar uma busca na literatura sobre a implementação de tecnologia blockchain na rastreabilidade de produtos têxteis ou outros segmentos;
- d) Abordar vantagens e desvantagens da utilização desta tecnologia;
- e) Verificar a adaptabilidade desta tecnologia no segmento têxtil tradicional varejista (Prova de Conceito).

1.4 JUSTIFICATIVA

A cadeia de suprimentos têxtil é vasta e complexa, seus participantes podem estar localizados em diversas partes do globo e, portanto, rastreabilidade e confiança são fatores primordiais para que a adoção de práticas de produção sustentáveis e humanas sejam alcançadas (Liu et al. 2017). Novas gerações de consumidores estão cada vez mais preocupados com a procedência e qualidade dos produtos têxteis adquiridos, porém, tem dificuldades nas tomadas de decisões baseado em boas práticas de produção, já que, muitas vezes conferir a procedência do que lhes é dito, nem sempre é possível (Kang et al, 2013). Cada vez mais empresas tem percebido a necessidade de transparência e rastreabilidade de

seus produtos e da cadeia de suprimentos ao qual pertencem. Certificados e protocolos de produção sustentável impulsionam cada vez mais a indústria a se certificar que seus produtos atendam os padrões estipulados.

Contudo, rastreabilidade e transparência dependem exclusivamente da reputação e integridade dos participantes da CS. Assumir que todos se comportarão de forma idônea e que nenhum destes realizará atividades ilícitas ou que beiram a moralidade é assumir o risco de que produtos e processos produtivos podem vir a trazer danos irreparáveis ao meio-ambiente e a condição humano de trabalho.

Neste sentido, é possível conjurar uma entidade que fiscalize todos os participantes da CS, porém, este processo demandaria que o fiscalizador possuísse todos os dados e analisasse cada um dos participantes individualmente para atestar sua idoneidade. Um processo moroso e hercúleo do fiscalizador. A TBC vem para ser a ferramenta que fiscaliza os atuantes na rede, pelos próprios participantes e que nenhum deles, sozinho, possa modificar os dados presentes na *blockchain*. Tornando assim o sistema imutável, transparente, auditável e seguro contra fraudes.

É uma tecnologia recente que tem suas raízes em sistemas de distribuição e poder computacional, porém, ainda com um aparente ar de complexidade e muito atrelada a criptomoedas e suas astronômicas valorizações. Este trabalho faz uma pesquisa exploratória do uso desta nova tecnologia e sua implementação na CS têxtil, através de protocolos e *smart contracts*, afim de que os insumos e produtos oriundos desta indústria possam ser rastreáveis e auditáveis por qualquer um, efetivamente revolucionando a forma como o consumidor interage com os participantes da indústria têxtil.

Este autor acredita que a TBC chegou a um estágio de maturação que poderá tornar a utilização desta nova tecnologia em aplicações globais, de larga escala e complexas. Desde o seu objetivo primário, a troca independente de ativos entre usuários da rede, ao rastreamento de produtos, armazenamento de propriedade intelectual até uma completa revolução no sistema monetário e seus participantes. A TBC apenas começou a ser aplicada e já pode-se notar uma mudança drástica em relação a sistemas cotidianos e como o impacto de sua utilização irá alterar toda a estrutura social na qual vivemos.

1.5 METODOLOGIA

Este trabalho tem como metodologia de pesquisa a pesquisa exploratória. Segundo Vergara (2007) a pesquisa exploratória é empregada em áreas em que se existe pouco conhecimento sistematizado e acumulado, sendo adequada para o aumento de conhecimento sobre o assunto. Vergara (2007) ensina que a pesquisa exploratória é muito utilizada como primeira etapa para outras pesquisas e objetiva familiarizar quem pesquisa com o tema investigado, buscando identificar relações existentes entre o tema proposto e a descrição da realidade.

Realiza-se também uma pesquisa bibliográfica para que conceitos teóricos e metodológicos deem base para o assunto abordado. É a pesquisa realizada através de material já publicado em livros, artigos científicos, trabalhos acadêmicos e meios eletrônicos acessíveis ao público (Vergara, 2007). O presente trabalho utiliza os dois campos de pesquisa para apresentar embasamento a nova tecnologia e apresentar estudos de casos de sua aplicação na prática.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo aborda-se os conceitos fundamentais e teóricos dos tópicos abordados neste trabalho explanando de forma teórica os temas abordados.

2.1 SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA TÊXTIL

A ideia de sustentabilidade foi trazida pela primeira vez pela União Internacional para a Conservação da Recursos Naturais em 1980, que propunha a sustentabilidade como crescimento industrial e econômico sem prejudicar o ambiente (Kutay et al., 2016). Nas décadas seguintes, tornou-se uma grande preocupação e amplamente reconhecida por vários líderes globais, empresas, organizações governamentais e não-governamentais de todos os tipos. O termo “desenvolvimento sustentável” foi popularizado depois que apareceu em um relatório amplamente conhecido como *Report Brundthland* em 1987 (Kumar et al., 2017). Embora a sustentabilidade possa ser compreendida como um estado do equilíbrio entre a sociedade, a economia e o meio-ambiente de uma nação ou do planeta Terra;

desenvolvimento sustentável é, na verdade, um passo rumo a sustentabilidade (Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1987). Ou seja, o desenvolvimento sustentável não é um estado, mas um procedimento que leva à sustentabilidade. A sustentabilidade tem sido amplamente discutida em a literatura e forneceu centenas de definições (Jacobs, 1995). Além disso. As Organizações das Nações Unidas (ONU), no planejamento sustentável “Agenda 2030”, traz em seu cerne, 17 objetivos do desenvolvimento sustentável para todo o planeta. Sendo o décimo segundo a produção e consumo sustentáveis (ONU, 2022).

Sendo assim, devido às crescentes preocupações dos governos e consumidores, a sustentabilidade emergiu como uma questão-chave para toda indústria têxtil (Strähle et al., 2015). Pesquisas profundas foram realizadas na última década para alcançar um equilíbrio entre sustentabilidade e necessidades das empresas e negócios. Além disso, a sustentabilidade também surgiu como uma importante ferramenta de marketing, usada para elevar a imagem e identidade da marca, sendo muitas vezes usada como um trampolim para alcançar clientes e não necessariamente como um objetivo com fins sociais e sustentáveis (De Brito, 2008). Etiquetas de vestuários indicando a utilização de fibras sustentáveis, certificações verdes, números de rastreabilidade, entre outras, são alguns exemplos amplamente utilizados para transmitir o aspecto de sustentabilidade de matérias-primas ou produtos finais para outros membros da CS ou usuários finais (Henninger, 2015). No entanto, a essas iniciativas são incompletas sem que haja transparência e rastreabilidade na CS.

Sustentabilidade, sem informações rastreáveis, pode ser atribuída como mera ferramenta de marketing para chamar a atenção dos clientes. Uma marca de moda foi acusada de usar trabalho infantil no cultivo de algodão orgânico (Phelan, 2011), que é parcialmente sustentável do ponto de vista ecológico, se comparado com o algodão convencional, mas esta sustentabilidade cai por terra quando tem-se o envolvimento de trabalho infantil tornando esta prática muito contrária aos objetivos do desenvolvimento sustentável almejados por ONG's e governos do mundo (Kumar et al., 2017). Um relatório, com 59 marcas de moda analisadas, mostra que cerca de 15% das marcas sequer identificam seus fornecedores e menos de 10% das marcas tinham 100% de informações sobre os fornecedores de matérias-primas, enquanto os 90% restantes conhecem parcialmente ou não têm informação nenhuma sobre a sustentabilidade de seus fornecedores (Nimbalker et al., 2015).

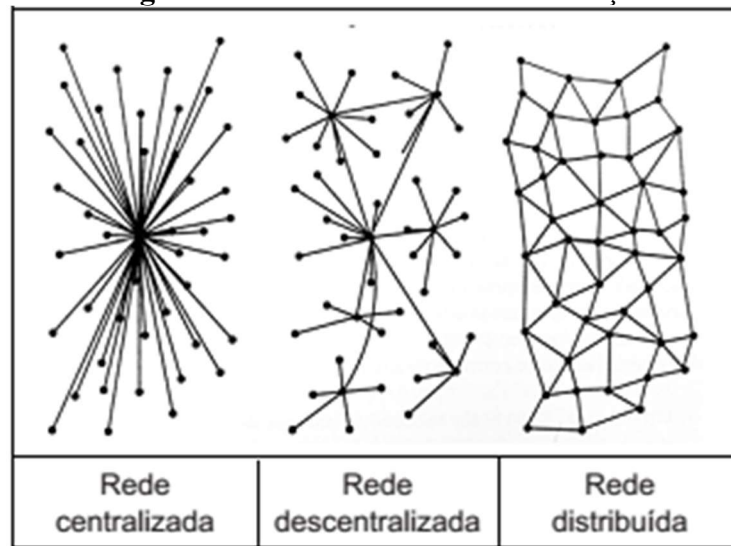
2.2 BLOCKCHAIN

A *blockchain* é um livro-razão distribuído e descentralizado. Um livro-razão é um simples registro de transações entre partes e registrado pelo histórico método das partidas dobradas desde os primórdios do comércio. Na *blockchain* tem-se um livro-razão que é compartilhado por todos os atuantes da rede, gravando todas as transações realizadas na rede e armazenada de forma descentralizada por todos os participantes, sendo assim, distribuído e descentralizado (Swan, 2015).

A tecnologia permite que uma rede de entidades interaja através da *blockchain*, permitindo uma rede global de consenso que elimina a necessidade de intermediários entre as partes que realizam a troca de informação ou valor. Portanto, a infraestrutura permite interações ponto-a-ponto pela rede, onde a confiabilidade é assegurada pelos mecanismos de consenso da TBC e não é essencial nas interações entre usuários (Bauman et al., 2016). Seu funcionamento é baseado por meio de computadores providos por voluntários ao redor do mundo e, portanto, não possui rede central de base de dados que pode ser *hackeada* ou desativada (Tapscott et al., 2017).

Isso significa que o usuário não depende em plataformas centralizadas ou instituições armazenando seus dados e provendo serviços baseado somente na conectividade das pessoas e o envio de informação ou qualquer valor entre estes. Na sua essência, a TBC distancia-se do atual modelo centralizado de intermediários como bancos, empresas de cartão de crédito, rede sociais, e permite que usuários da *blockchain* enviem dinheiro ou qualquer forma digitalizada de informação, direta e seguramente entre eles (Tapscott et al., 2017). A **Figura 2** ilustra as diferenças entre redes centralizadas, descentralizadas e distribuídas.

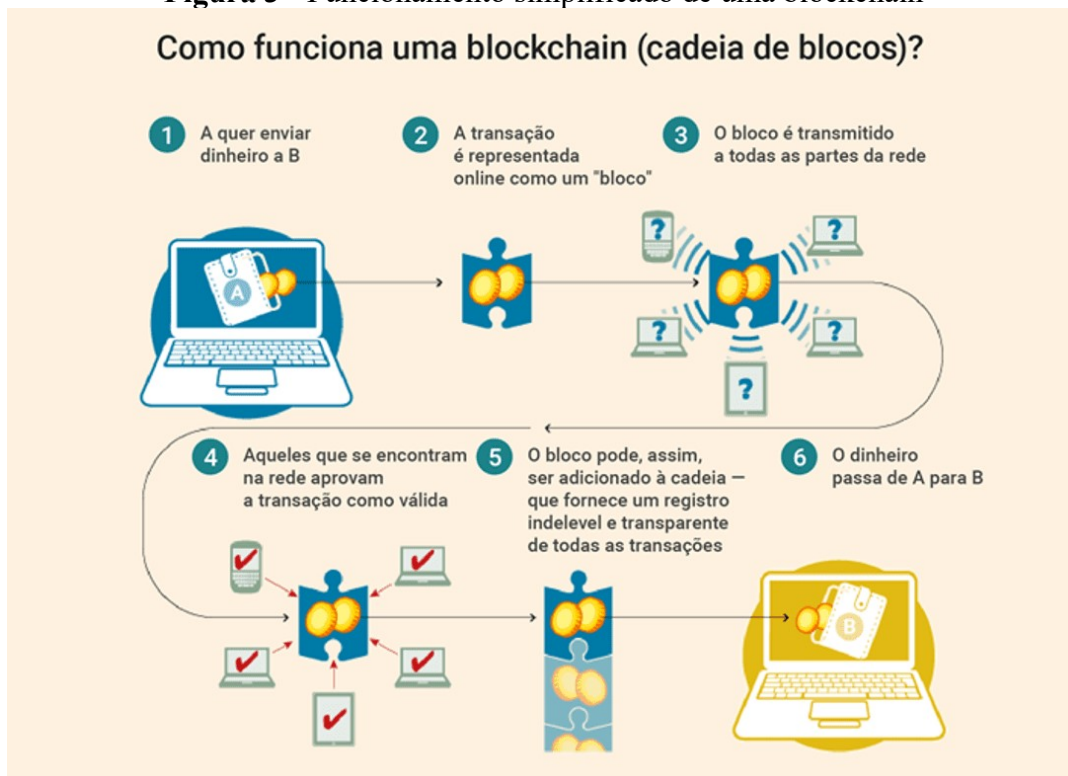
Figura 2 - Estrutura de redes e diferenças



Fonte: Marques A. *et al* (2009)

A rede *blockchain* é formada pela conexão de diversos blocos conectados em sequência, formando uma corrente, portanto seu nome *blockchain*, em tradução livre, “corrente de blocos”, onde o histórico de transações pode ser facilmente rastreado por blocos anteriores fazendo com que a tecnologia seja transparente e confiável. Cada bloco contém seu ID único e tem um *hash* do bloco anterior, garantindo assim uma transação segura. Nenhum novo bloco pode ser criado sem que o bloco anterior esteja contabilizado no novo bloco criado. Todas as transações na rede são validadas e gravadas pelos usuários na rede; também são carimbadas com data e hora (*timestamp*) arranjadas em ordem cronológica, conectadas ao bloco anterior e irreversíveis após serem adicionadas à rede. O mecanismo mais importante na confiabilidade da *blockchain* é o que se chama de “*consensus mechanism*”. Este mecanismo de consenso, em tradução livre, representa os princípios subjacentes da verificação de blocos na *blockchain*. Através deles, são descritas as condições que precisam ser atendidas pelos nós (*nodes*) e validadores da rede para que novos blocos possam ser adicionados à *blockchain*. Existem diversos mecanismos de consenso em utilização atualmente, o mais famoso destes é o consenso de PoW (*Proof of Work*). A **Figura 3** ilustra de forma simplista as etapas do início ao fim de uma transação realizada na *blockchain*.

Figura 3 - Funcionamento simplificado de uma blockchain
Como funciona uma blockchain (cadeia de blocos)?



Fonte: IHODL, 2017

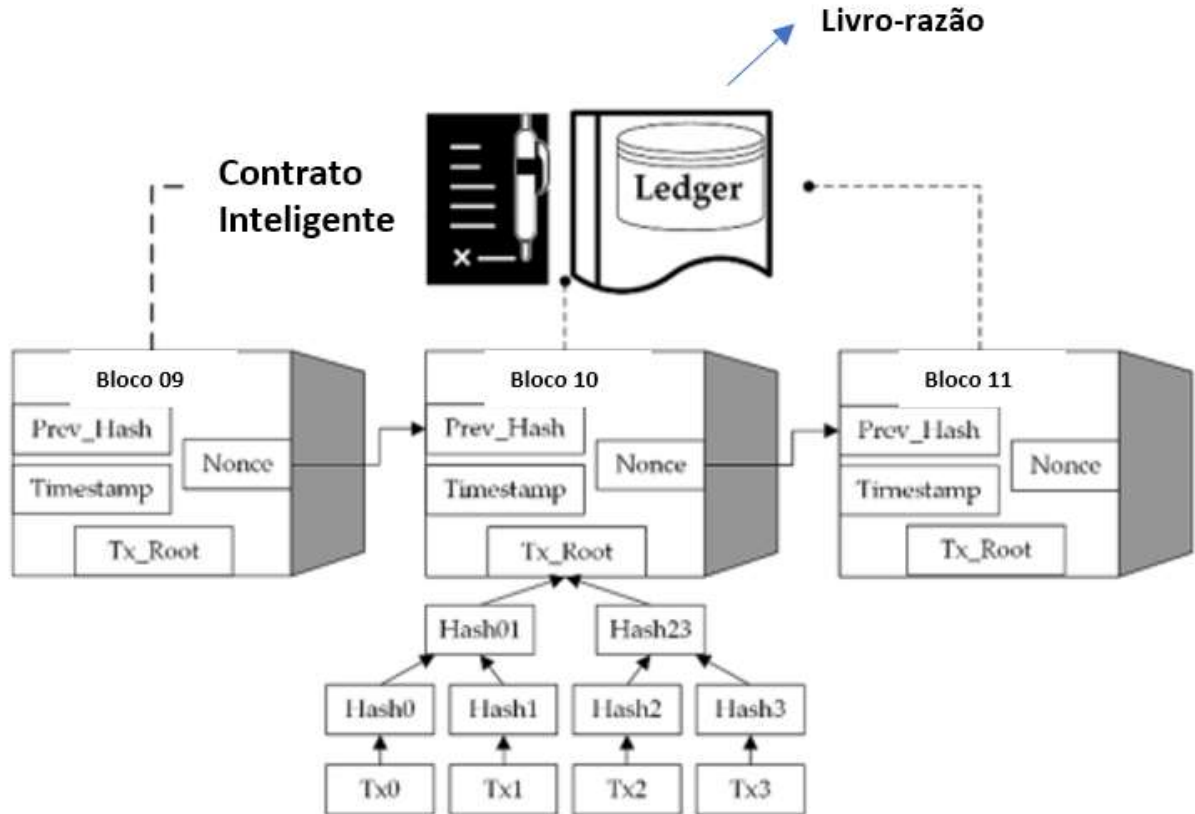
Outra forma de interação entre as partes na *blockchain* envolve a utilização de contratos autônomos, *smart contracts*. No contexto da *blockchain*, *smart contracts*, são *scripts* armazenados na *blockchain*. Cada contrato é programado para realizar uma determinada função e nada mais do que foi programado para realizar. Como os contratos residem na *blockchain* e, portanto, possuem seus próprios endereços únicos, pode-se realizar a ativação deste contrato ao interagir com este por intermédio de uma transação. O contrato então executara independentemente e automaticamente na maneira em que foi prescrito para cada nó na rede, de acordo com os dados que foram incluídos e as condições de acionamento (Christidis, et al., 2016). Em resumo, contratos inteligentes permitem aos usuários utilização para os fins que julgarem adequados as partes, seja uma transação monetária ou transferência de dados.

2.2.1 Estrutura De Um Bloco

A **Figura 4** mostra a estrutura básica de um bloco e descreve as partes principais de um bloco: transações e cabeçalho. As transações são agrupadas e armazenadas no bloco. O cabeçalho possui diversos campos, entre eles os mais importantes são: *Hash* do bloco, *Hash*

do bloco anterior, *Nonce*, *Timestamp*, Altura e Raiz da árvore de Merkle (Barbosa de Souza, 2018).

Figura 4 - Representação de uma blockchain



Fonte: Adaptado de T.K. Agrawal et al (2021)

Hash do bloco: É o principal identificador do bloco, é obtido pelo processo de resumo criptográfico do próprio bloco. Ao contrário dos demais campos do cabeçalho o *hash* do bloco é computado isoladamente pelo processo de mineração (Barbosa de Souza, 2018).

Hash do bloco anterior: Este campo do cabeçalho possibilita que um bloco seja ligado a seu antecessor, criando uma cadeia de blocos sequencial onde se algum bloco intermediário da cadeia for alterado, o bloco seguinte perde sua referência, invalidando toda a cadeia (Barbosa de Souza, 2018).

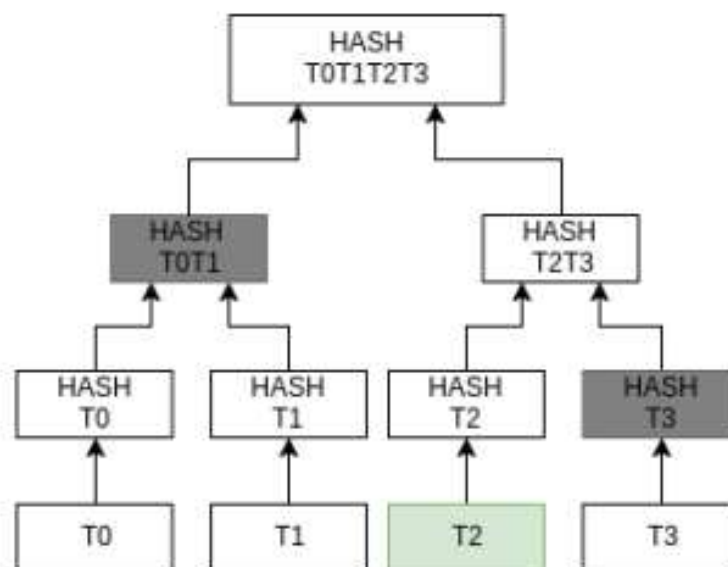
Nonce: É o número variável usado para alterar a saída da função *hash* do cabeçalho. A mudança dessa variável é usada para determinar o *hash* final de um bloco, já que valores diferentes geram *hash* diferentes. Na rede do *Bitcoin* esse processo de escolha de um *Nonce* apropriado é conhecido como *Proof of Work*. O *Nonce* é incrementado a partir do zero até encontrar um *hash* que se adéqua a dificuldade da rede. A dificuldade caracteriza-se por uma quantidade variável de bits 0's no início do *Hash* do bloco (Barbosa de Souza, 2018).

Dificuldade: Colisão parcial de bits em um *hash*. A rede *Bitcoin* assume como dificuldade uma quantidade variada de zeros no início do *Hash* do bloco, isso se deve ao fato de a rede se adequar a quantidade de mineradores que podem aumentar ou diminuir em determinadas épocas. Se muitos blocos forem descobertos em um curto período de tempo a dificuldade é recalculada para gerar aproximadamente um bloco a cada dez minutos (Barbosa de Souza, 2018). A dificuldade é variável para se ajustar a quantidade de mineradores, em geral quanto mais mineradores maior a dificuldade. A dificuldade em uma rede *blockchain* centralizada e privada não necessariamente será alterável, visto que, seu objetivo principal não é de recompensar os validadores e autenticadores da rede.

Timestamp: O *Timestamp* identifica o momento em que o bloco foi minerado e prova que os dados devem ter existido no tempo para entrar no *hash*. É a identificação de data e hora imutável na *blockchain* (Barbosa de Souza, 2018).

Raiz da árvore de Merkle: Também conhecida como árvore de *hash* ou simplesmente árvore Merkle, é uma árvore binária completa, usada para armazenar um resumo dos dados e verificar com rapidez de se uma transação pertence ao bloco (Merkle, 1987). Para construir uma árvore de Merkle, as folhas devem ter tamanho par, caso haja um número ímpar a última folha é duplicada. As folhas são agrupadas em duplas para formarem o pai, dessa forma recursivamente os pais são agrupados em grupos até chegar na raiz. A **Figura 5** mostra uma árvore Merkle com as transações T0, T1, T2 e T3. Para verificar se a transação T2 está no bloco, basta retornar o caminho até a raiz (Barbosa de Souza, 2018).

Figura 5 - Árvore de Merkel



Fonte: Adaptado de Evans, 2011

2.2.2 Características De Uma Blockchain

A partir dos tópicos abordados acima pode-se realizar uma listagem das características únicas que tornam a TBC promissora para futuras aplicações industriais.

Anonimato: As transações que ocorrem entre os nós garantem anonimato aos indivíduos que dela participaram;

Autonomia: Cada nó da *blockchain* pode acessar, transferir, armazenar e enviar dados para si mesmo, ou outros participantes, sem a intervenção de terceiros;

Automação de contratos: Conforme (Li et al., 2019) contratos autônomos, ou na linguagem da blockchain, *smart contracts*, são programas que ajudam a executar um contrato realizado entre as partes na blockchain.

Código-Aberto: A *blockchain* permite acesso ao código para qualquer um na rede.

Descentralizada: Os dados do sistema podem ser acessados, armazenados, monitorados e enviados para diversos sistemas na rede;

Imutabilidade: A TBC prove *timestamps*, ou seja, carimbos de data/hora e controles para garantir a imutabilidade das transações e dados;

Irreversível: Cada transação realizada uma gravação certa e verificável é mantida por cada *blockchain*;

Propriedade e singularidade: Cada transação documentada na *blockchain* guarda a gravação de propriedade com um código *hash* único;

Proveniência: Cada produto como uma gravação digital na *blockchain* garante sua autenticidade e origem;

Transparência: A característica central que norteia este trabalho. Onde, dados são armazenados e gravados na rede, com o consentimento da rede visível e rastreável por toda a sua existência;

2.2.3 Blockchains Privadas

A TBC também foi implementada para soluções internas de corporações, estas *blockchains* também são conhecidas como *blockchains* privadas. Esta modalidade de *blockchain* é implementada para utilizar a TBC em um ambiente controlado, tais como, serviços governamentais ou em mercados financeiros regulados (Bauman et al., 2016).

Blockchains privadas são essencialmente sistemas com acesso controlado. Participantes são limitados pela rede a aqueles que são conhecidos, confiáveis e que pactuam numa série de regras pré-estabelecidas que os permitem realizar a troca de ativos entre eles. (Ko et al., 2016).

No entanto, *blockchains* privadas divergem substancialmente do paradigma das *blockchains* públicas, já que restringem o acesso à rede a um seletivo número de participantes e por consequência restringindo o acesso à informação (Evans et al., 2016). Entre os especialistas no campo da nova tecnologia, a utilização de *blockchains* privadas é contestado no sentido de que não deveriam ser consideradas *blockchains*, devido a sua natureza aberta e irrestrita. Entretanto, no tocante a esta pesquisa, nota-se que as corporações que fazem uso da TBC utilizam uma versão privada da tecnologia para garantir um mecanismo de consenso onde, a corporação, detém o controle das validações e da reputação dos participantes que interagem nela.

2.2.4 Mecanismos de Consenso (*Proof of...*)

Mecanismos de consenso são incorporados nas *blockchains* como um mecanismo tolerante a falhas na verificação de transações. O consenso é utilizado para preservar o acordo entre os nós da rede. Quando a rede se expande, o número de nós aumenta e pode ser desafiante que se chegue a um consenso entre estes. *Blockchains* públicas requerem a participação de usuários para verificação e autenticidade das transações. Como cada *blockchain* é dinâmica e autorregulada, se faz necessário a incorporação de mecanismos de segurança para garantir a autenticidade de cada transação, fazendo com que os participantes cheguem a um consenso (Lashkari et al., 2021).

Existem dezenas de diversos mecanismos de consenso em utilização atualmente nas diversas *blockchains* espalhadas pela rede. Seria exaustivo e improdutivo citar, explicar e exemplificar todos os mecanismos em utilização. Os mecanismos mais utilizados são: *Proof of Work (PoW)*, *Proof of Stake (PoS)*, *Proof of Importance (PoI)*, *Proof of Activity (PoA)*, e *Proof of Authority (PoA)*. O mecanismo de consenso mais indicado para uma blockchain privada é o *Proof of Authority*.

O protocolo de consenso *Proof of Authority (PoA)* escolhe um nó para verificar a transação baseado na “reputação” de cada nó dentro da rede. Portanto, é o mais adequado para blockchain privadas. Este consenso realça o valor da identidade do usuário na rede. Nós com

alta “reputação” serão selecionados para realizar a verificação da transação, ou seja, a rede *blockchain* autoriza os nós confiáveis para realizar a autenticação. Isto encoraja os participantes a manterem um alto nível de reputação e afasta a possibilidade de práticas fraudulentas (Cong et al., 2019). No entanto este modelo tem desvantagens quanto a descentralização, exploração por terceiros e atos fraudulentos por nós com alta reputação.

2.2.5 Desvantagens na utilização de uma *blockchain*

A TBC é uma ferramenta poderosa que altera a forma como interagimos na rede de computadores e na transparência de outrora operações e transações escondidas pelos servidores de grandes corporações. Entretanto, a TBC não é imune a falhas ou ataques.

A imutabilidade, uma das características mais fortes na tecnologia pode se tornar um grave problema quando o usuário realiza a transferência de um ativo para uma carteira “errada” ou perdendo completamente seu ativo quando interagindo de forma equivocada com um contrato inteligente, já que devido a imutabilidade da *blockchain*, jamais será possível reverter esta transação em uma *blockchain* pública, pode-se fazer um caso para a reversão de transferência em uma *blockchain* privada.

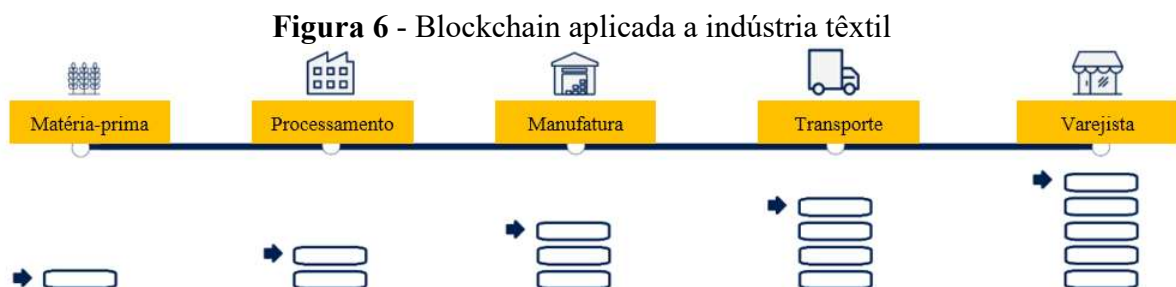
Outros fatores são a possibilidade de um ataque hacker à rede, problemas legislativos na regulamentação do uso de tal tecnologia e contrário ao que muitos acreditam, construir a própria *blockchain* tem alto custo associado na implementação da tecnologia e nas operações diárias.

3 USO DE TECNOLOGIA *BLOCKCHAIN* NA CADEIA DE SUPRIMENTOS TÊXTIL

Como visto acima, a TBC tem grande potencial para alterar a forma como trocamos ativos na rede de computadores, sejam eles valores monetários, informações, dados ou qualquer outro ativo virtual, tornando-os verificáveis e, portanto, transparentes e rastreáveis por qualquer participante da rede. Neste sentido, a implementação da TBC na CS traz novas opções e formas de controle do gerenciamento da cadeia de suprimentos (GCS), isto é particularmente interessante em CS que tem seus processos fragmentados e globalizados, onde, por exemplo, a matéria-prima é produzida no Brasil e confeccionada em vestuários na China, como claramente é o caso para a indústria têxtil.

Atualmente é notório que a maioria dos participantes da CS têxtil demandam mais transparência e produção sustentável. Tais práticas tornam possível a obtenção e validação de selos de qualidade e ecológicos, que abrem portas para maior acesso a outros clientes, conseqüentemente tranquilizando o consumidor final acerca da aquisição que está realizando. Uma rastreabilidade mais segura e informativa sobre a produção na CS pode ser alcançada através da utilização da TBC (Provenance, 2015).

De uma forma simplista isto pode ser alcançado pela marcação de diferentes entradas no processo produtivo, tais como algodão, polímeros, produtos químicos e designando-os certificados digitais que são validados na *blockchain*. Quando examinamos a CS têxtil pode-se pensar que a informação da colheita do algodão, origem da safra, data da colheita, impurezas, espécie e qualquer outra informação relevante, pode por completo ser encontrada na *blockchain* (Andrew, 2018). A **Figura 6** traz uma ilustração simples, porém, visual de como a adição de blocos de dados em cada etapa da produção até o consumidor final poderia acontecer (Jordan et al., 2018).



Fonte: Adaptado de Jordan A. et al, 2018

3.1 ESTRUTURA DE UM SISTEMA *BLOCKCHAIN* NA CS TÊXTIL

Uma *blockchain* desenvolvida para aplicações em negócios e cadeias de suprimentos são, como citado anteriormente, muito diferentes de *blockchains* públicas. Comparadas a *blockchains* públicas, *blockchains* privadas devem possuir restrição e privacidade em diferentes níveis de acesso, possuindo acesso autorizado e identificável pelos parceiros atuantes. Além disso, podem existir requerimentos para diferentes níveis de visibilidade e acessibilidade aos parceiros. A *blockchain* também irá requerer um registro e acesso seguro afim de garantir a rastreabilidade em um nível sistemático. Contudo, dependendo do nível de acessibilidade, cada parceiro pode somente acessar um certo conjunto de informações. Essa estrutura garantirá um sistema de confiança baseado na tecnologia entre os parceiros, transparência na CS e visibilidade que permite uma fácil implementação de leis e políticas governamentais. De forma similar, cada parceiro pode manter sua vantagem competitiva sem ter que divulgar todas suas informações e estratégias com seus competidores. Por exemplo, informação de um fornecedor pode ser somente disponível para compradores e não para seus competidores no mesmo segmento. Não obstante, a *blockchain* deve registrar todas as transações com acesso customizado, mantendo-se verificável e auditável (Gupta, 2018; Hallikas et al., 2017). Esta prática assistirá em resolver conflitos e manter os participantes da *blockchain* responsáveis, orientando-os a praticas éticas na CS.

A fim de melhor compreender como a *blockchain* poderia servir como estrutura num sistema de rastreabilidade, elencou-se por dividir sua implementação em dois níveis:

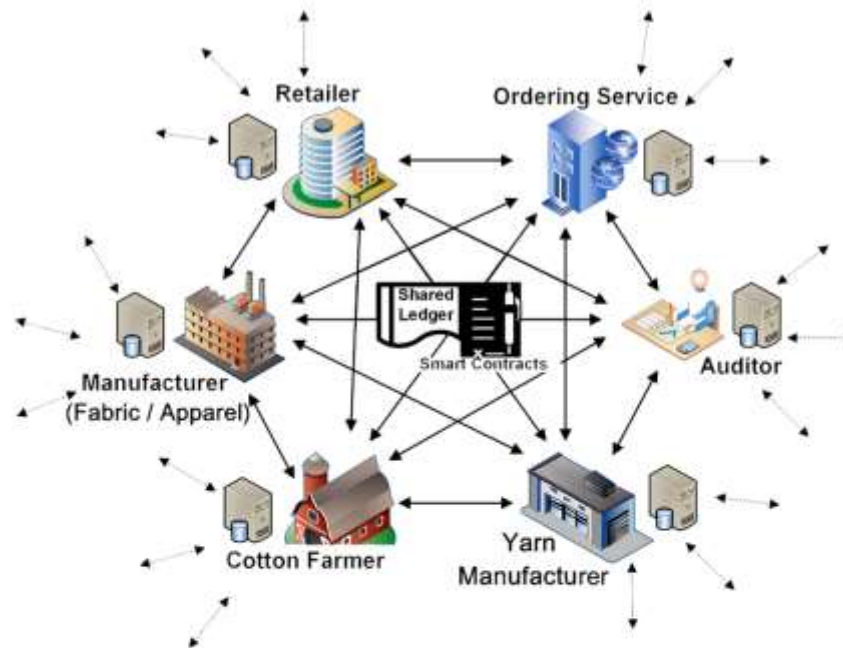
- Nível organizacional, que explica a configuração da CS da *blockchain* privada, interação entre parceiros, métodos de customização de acessibilidade aos dados de transação e modos de acesso (Agrawal et al. 2021).
- Nível operacional, ou seja, as regras dos contratos inteligentes que regulam a *blockchain*, os mecanismos de validação das transações e como a informação associada aos diferentes estágios da CS pode ser capturada e armazenada (Agrawal et al. 2021).

3.1.1 Nível organizacional

Como visto anteriormente, grandes marcas e magazines atuam como pontos focais de previsão da demanda do mercado e colocam pedidos aos seus fornecedores de acordo. Afim de atender a esta demanda, os magazines normalmente realizam pedidos de diversos

fornecedores. De forma similar, uma confecção realiza compras de matéria-prima e terceiriza produção com diversos fornecedores, nacionais e internacionais. Portanto, num cenário ideal da rastreabilidade pela *blockchain*, cada parceiro pode estar conectado a diversos canais, onde cada canal pode possuir seu próprio livro-razão compartilhado e um ou mais contratos inteligente (Agrawal et al. 2021). A transformação de uma forma linear para distribuída na rede da *blockchain* afeta o mecanismo de compartilhamento de informações entre os parceiros. A **Figura 7**, abaixo, demonstra visualmente esta conexão distribuída.

Figura 7 - Rede descentralizada em blockchain para compartilhamento de informação



Cotton Farmer – Produtor de Algodão
Yarn Manufacturer – Fabricante de Fios
Auditor – Auditor das transações
Manufacturer – Fabricante
Ordering Service – Serviço organizador
Retailer – Varejista
Shared Ledger – Livro-razão Compartilhado
Smart Contracts – Contratos Inteligentes

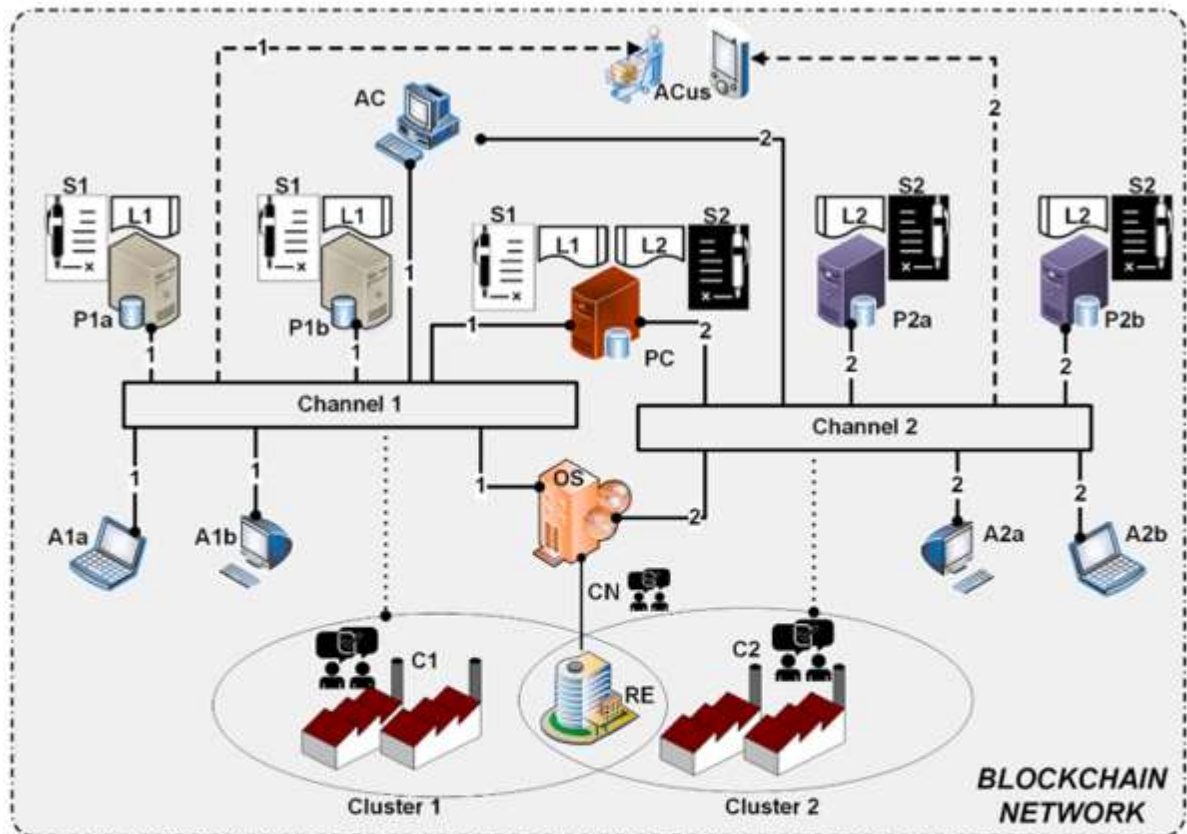
Fonte: Adaptado de T.K. Agrawal et al (2021)

Diversas customizações podem ser realizadas numa rede privada a fim de atender requisitos para os parceiros comerciais. Esta customização e configuração podem facilitar o funcionamento da *blockchain*, acelerar seu processo e simultaneamente manter a privacidade e transparência da rede. Na sequência tem-se os principais componentes de uma rede de rastreabilidade baseada na tecnologia *blockchain* (Agrawal et al. 2021).

- Canais: São subdivisões da rede, usados para o particionamento de dados. Cada canal tem sua *blockchain* independente que é armazenada no livro-razão compartilhado. A *blockchain* é governada por um ou mais contratos inteligentes. Um conjunto de fornecedores, usualmente de um único produto ou processo, podem se conectar ao canal, ou vários canais, para cada tipo de transação realizada. Onde, por exemplo, todas as transações relacionais a materiais e produtos podem ser transacionais em um canal enquanto que as transações financeiras podem ocorrer por outro canal independente. Mantendo a privacidade e subdividindo a rede em múltiplas redes menores. Cada parceiro seguiria o conjunto de regras do canal e da rede principal. Por exemplo, o auditor teria permissão para somente ler e aprovar transações, não podendo adicionar ou modificar uma transação na rede (Agrawal et al. 2021).
- Pares: Os pares são sistemas de processamento que hospedam o contrato inteligente e/ou o livro-razão compartilhado. Eles facilitam a geração, endosso e/ou a validação de transações dependendo de suas funções. São nós diferentes que estão conectados entre si para formar a rede. Determinados por seus papéis, apenas os principais parceiros de uma cadeia de suprimentos devem hospedar sistemas pares, pois envolve investimento e manutenção do sistema. Os demais sócios podem simplesmente acessar o livro-razão por meio de um aplicativo. Durante o processo de validação, os pares podem ser selecionados com base no mecanismo de consenso para validar e endossar uma transação (Agrawal et al. 2021).
- Aplicativos: Os aplicativos são uma interface de software que pode ser usada para fazer solicitações na *blockchain*. As solicitações podem ter como objetivo ler ou adicionar transações ou validar transações para adicionar ao livro-razão compartilhado. Cada parceiro pode executar o aplicativo na *blockchain* em diversos dispositivos com diferentes regras de acesso. Por exemplo, um leitor de código RFID ou QR pode ser conectado diretamente a um canal para postar, marcar, escanear carimbos de *timestamp* e locais. Da mesma forma, os clientes podem acessar os dados de negociação de produtos por meio de um aplicativo separado conectado a mesma *blockchain* com acesso limitado aos dados (Agrawal et al. 2021).
- Serviço de ordenação: O serviço de ordenação normalmente é um serviço terceirizado, responsável pela manutenção da rede. Ele não hospeda o livro-razão compartilhado, o contrato inteligente ou gera/endossa/verifica transações. Sua principal tarefa é coletar um conjunto de transações que são adicionadas pelos parceiros da CS, organizá-las em uma sequência lógica, registrá-las em um bloco e enviar o bloco para o processo de validação. Após a validação, o serviço de ordenação anexaria o bloco validado ao livro-razão compartilhado do respectivo canal (Agrawal et al. 2021).
- Associação à rede: Em uma rede *blockchain* privada os serviços de associação geram e fornecem pares de chaves público-privadas exclusivos para os parceiros participantes. As chaves determinam o tipo e a extensão da acessibilidade na rede blockchain, dependendo da função e responsabilidade do parceiro da cadeia de suprimentos. É a chave público-privada que garante

acesso e personalidade aos participantes, sendo única e exclusiva para cada um deles (Agrawal et al. 2021).

Figura 8 - Versão simplificada de uma blockchain para CS têxtil com o Varejista como ponto focal



P – Sistema de Pares

S – Smart Contract – Contrato Inteligente

L – Livro-razão

OS – Serviço de Ordenação

1 – Canal 1

2 – Canal 2

RE – Varejista

A – Aplicação com acesso específico

CN – Regras dos Canais

C – Canal com regras próprias

AC – Aplicação com acesso a múltiplos canais

ACUs – Aplicação para consumidores

PC – Sistema de pares com acesso aos canais

Cluster – Fornecedores na CS têxtil

Fonte: Adaptado de T.K. Agrawal et al (2021)

A **Figura 8** mostra uma representação visual de uma proposta rede *blockchain* para a CS têxtil. Consistindo em dois canais para dois agregados de parceiros (Cluster 1, Cluster 2) com o Varejista (RE) como parceiro comum. Neste caso o varejista é a empresa que inicia a *blockchain* e hospeda múltiplos canais. A interação dos participantes dos Clusters 1 e Cluster 2 são realizadas pelo Canal 1 e Canal 2. Esta interação deve atender a um determinado conjunto de regras (C1 e C2) e as regras comum entre todos na rede (CN). Tem-se também que existe diversos sistemas de pares (P1a, P1b, P2a e P2b) associados a cada canal que

hospeda um ou mais contratos inteligentes e o livro-razão compartilhado. Os aplicativos representados por A1 e A2 são utilizados pelos parceiros para interagirem com seus canais enquanto que AC pode acessar qualquer canal da *blockchain*. Por fim, o aplicativo ACus é aquele que garante ao consumidor final acesso à leitura dos dados da rede, permitindo com que este possa ter acesso a rastreabilidade do produto para verificar sua origem, produção e procedência e assim, realizar uma escolha mais consciente no momento da compra.

3.1.2 Nível operacional

Para projetar uma estrutura de rastreabilidade baseada em *blockchain*, é importante analisar a operacionalização da *blockchain*. Esta análise está no contexto da cadeia de suprimentos que envolve múltiplas operações de diferentes parceiros. A estrutura no nível operacional deve demonstrar atividades como planejamento, coleta, organização e troca de dados de rastreabilidade em diferentes níveis da CS têxtil. Como resultado da constante troca de suprimentos e realização de operações pelos participantes da CS, uma quantidade substancial de informações é gerada em cada estágio da CS que requer procedimentos adequados de coleta e gerenciamento. As informações geradas atuam como um componente crítico da CS e cada parceiro precisa trabalhar para controlar seu fluxo e proteger informações confidenciais (Agrawal et al. 2021). Como resultado, todas as informações podem ser registradas, mas apenas as informações essenciais devem ser compartilhadas no registro distribuído.

Assim, a implementação da rastreabilidade baseada em blockchain exigiria planejamento antecipado e identificação das informações essenciais de rastreabilidade que podem ser compartilhadas no livro-razão distribuído, construindo um consenso adequado entre os parceiros da cadeia de suprimentos (Agrawal & Pal, 2019). Da mesma forma, também é importante que os dados necessários sejam coletados e compartilhados para cumprir a regulamentação local e os requisitos das agências de certificação. Para reduzir a complexidade, Kumar et al. (2017) propôs dividir as informações de rastreabilidade em quatro conjuntos: Privado compartilhável, público compartilhável, seguro e informações de ligação.

- Informações privadas compartilháveis: As informações partilháveis privadas consistem num conjunto de informações cruciais para operações B2B (*Business-to-Business*) e especialmente aquelas úteis para processos de transformação de

materiais (por exemplo, especificações de produtos, design e detalhes). Essas informações, quando compartilhadas com segurança pelos parceiros da cadeia de suprimentos, podem aumentar a visibilidade e reduzir os riscos (Kumar et al. 2017). No entanto, as informações são protegidas e não podem ser acessadas por terceiros ou clientes.

- **Informações públicas compartilháveis:** Ao contrário das informações privadas compartilháveis, as informações públicas compartilháveis podem ser compartilhadas com o cliente e com terceiros. Essas são algumas das informações essenciais que devem ser registradas e compartilhadas em todas as etapas da transformação do produto para atender às creditações e regulamentações do governo local. A extensão da coleta e compartilhamento de informações públicas compartilháveis determinaria o nível de transparência de uma cadeia de suprimentos para seu cliente (Kumar et al. 2017).
- **Informações seguras:** são informações codificadas que só podem ser acessadas por um parceiro autorizado dentro do canal. Ao contrário das informações privadas compartilháveis que podem ser acessadas por qualquer parceiro, as informações protegidas são confidenciais. Podendo incluir dados financeiros, propriedade intelectual e várias outras informações que podem ser de vantagem competitiva.
- **Ligando informações:** Vincular informações é essencial para o funcionamento da *blockchain* como rede (Kumar et al. 2017). São as informações que seriam validadas durante cada transação no livro-razão compartilhado regido pelo contrato inteligente. Isso conteria quatro campos de valor e uma combinação de tudo isso seria confirmada no estado global do livro-razão compartilhado para validar a transação (Kumar et al. 2017). Esses quatro campos de valor são:
- **ID de Rastreabilidade ou ID de Lote:** é um código de identificação único que diferencia cada UR (unidade de rastreabilidade) das demais URs semelhantes. É um elemento crucial de rastreabilidade e essencial vincular cada UR com as informações de rastreabilidade. Também facilita o rastreamento de lotes de ativos mesmo depois de divididos, misturados ou recombinações. Esses IDs podem ser gerados por meio de uma função baseada no tempo para garantir sua exclusividade.

- Chave pública (*public key*): Atribuída para identificar os parceiros da CS. A chave é um elemento crucial para rastrear e verificar a autoria do participante. Durante a validação da transação, as chaves públicas dos parceiros comerciais são verificadas no livro-razão compartilhado para verificar se o parceiro remetente possui ativos suficientes.
- Assinatura da transação: É uma combinação da chave privada e do ID ou endereço exclusivo do parceiro autorizado que iniciou a transação. Ele é usado para autenticar a transação, ajudar na manutenção da segurança do livro-razão e definir o tipo de acessibilidade do participante a rede (Kumar et al. 2017).
- Valor do Ativo: Cada parceiro da CS pode acessar a *blockchain* por meio de aplicativos e, posteriormente, adicionar transações, incluindo o valor do ativo que gostariam de negociar. Se validado, o valor do ativo é escrito na *blockchain* e o livro-razão é atualizado.

3.2 IMPLEMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA POR MARCAS E MAGAZINES

Como visto acima, a TBC pode ser aplicada de diferentes maneiras nas configurações da CS têxtil. Vários projetos de *blockchain* já estão em implementação na indústria têxtil. A Tabela 1 apresenta algumas aplicações de *blockchain* do setor que usam modelos de rede de permissão ou consórcio. A maioria dos projetos de *blockchain* realizados até o momento neste setor buscaram garantir a autenticidade e a sustentabilidade dos produtos de vestuário em resposta à crescente demanda por práticas sustentáveis de clientes, governos e organizações não governamentais.

A *blockchain* tem sido usado para identificar e rastrear a procedência do produto, capturando informações sobre origem do produto, processamento de materiais e movimentos de materiais à medida que o produto flui pela CS (Agrawal et al., 2021). Registros permanentes de produtos e informações relacionadas são armazenados no livro-razão distribuído, que atua como uma cópia digital da CS física. Pode-se dividir as aplicações da TBC em duas categorias.

A primeira sendo aplicações para garantir a autenticidade do produto e combater a fraude do produto. Estes fatores têm sido importantes para muitos projetos-piloto de *blockchain*, especialmente, mas não exclusivamente, para marcas de luxo com produtos finais

de alto valor. Na maioria desses pilotos, a solução de rastreabilidade começa no ponto de criação do produto final. Alguns dos produtores de fibra de alta sustentabilidade também usam a tecnologia para autenticar sua fibra e combater a falsificação.

Exemplos de tais projetos-piloto de blockchain nas cadeias de suprimentos de organizações específicas incluem Hugo Boss (Hackling, 2019), Chargeurs Luxury Materials (Chargeurs, 2019) e Lenzing (Lenzing, 2020). Exemplos de projetos de blockchain realizados por consórcios incluem o AURA Consortium, desenvolvido pela LVMH (LVMH, 2021), e o Arianee Consortium, que usa *blockchain* para permitir a certificação digital de bens de luxo (Project Arianee, 2020).

A segunda categoria sendo aplicação da TBC para garantir a sustentabilidade do produto. Devido às preocupações de sustentabilidade relacionadas ao fornecimento e produção de vestuário, muitos varejistas de marcas e produtores de fibras começaram a usar a TBC para garantir a sustentabilidade do vestuário produzido. Isto é alcançado através da identificação e verificação da origem do vestuário e através da utilização de fornecedores certificados em cada fase da cadeia de abastecimento. Exemplos de marcas e varejistas que exploraram ou possuem projetos de *blockchains* para garantir a sustentabilidade de seus produtos incluem Martine Jarlgaard (FIA *Blockchain for Transparency*, 2021), C&A Foundation (*Fashion for Good*, 2021) e Armediangels (*Retraced*, 2021).

Tabela 1 - Exemplo de aplicações da TBC por magazines/marcas ou produtores de fibras

Organização/ Consórcio Blockchain	Descrição do Projeto
1. <i>AURA Consortium</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>LVMH</i> em parceria com <i>Microsoft Azure</i> e <i>ConsenSys</i> forma o <i>Aura Consortium</i> para liderar e convocar uma colaboração global para examinar e lançar projetos com a TBC para rastreabilidade e autenticidade dos produtos. Prada e Cartier recentemente se juntaram ao consórcio • <i>AURA</i> almeja prover autenticidade a consumidores e rastreamento de produtos da origem até a venda final
2. <i>Arianne Consortium</i>	<ul style="list-style-type: none"> • O consórcio <i>Arianne</i> é uma colaboração por toda indústria que pretende desenvolver padrões digitais de certificação de ativos valiosos usando o protocolo <i>Arianne</i>, baseado na TBC
3. HUGO BOSS	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Hugo Boss</i>, a marca, está colaborando com <i>ASTRATUM</i> para desenvolver <i>Tracey</i>, uma plataforma <i>blockchain</i> para rastrear produtos por toda CS e garantir autenticidade
4. <i>Chargeurs Luxury Materials</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Chargeurs Luxury Materials</i>, marca líder mundial de lã, desenvolveu o <i>Organica Precious Fivers</i> baseado na TBC para garantir qualidade de suas fibras e rastreabilidade da ovelha ao consumidor final.
5. <i>Martine Jarlgaard</i>	<ul style="list-style-type: none"> • A primeira peça de vestuário a ser rastreável pela <i>blockchain</i> foi um macacão da marca <i>Martine Jarlgaard</i>. Em parceria com a <i>Provenance</i> e <i>A Transparency</i>, informação do produto e seu percurso na CS foram armazenadas na <i>blockchain</i>.
6. C&A Foundation	<ul style="list-style-type: none"> • Um projeto piloto <i>blockchain</i> liderado pela <i>Bext360</i> foi desenvolvido para rastreamento do algodão orgânico da fazenda até seu processamento. • Outras tecnologias como IA, marcadores RFID foram utilizados para garantir precisão dos dados armazenados. • Diversas organizações estão envolvidas, incluindo C&A, <i>Fashion for Good</i>, <i>Organic Cotton Accelerator</i>, entre diversas outras marcas.
7. <i>Armedangels</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Diversas marcas como <i>Armedangels</i>, <i>Boyish</i> e <i>CANO</i>, tem pilotado uma solução de rastreabilidade. • <i>Retraced</i>, um provedor de soluções para <i>blockchain</i>, desenvolveu uma ferramenta baseada na plataforma <i>blockchain Oracle Hyperledger Fabric</i> com utilização de QR codes e chips NFC para rastrear seus produtos por toda CS.

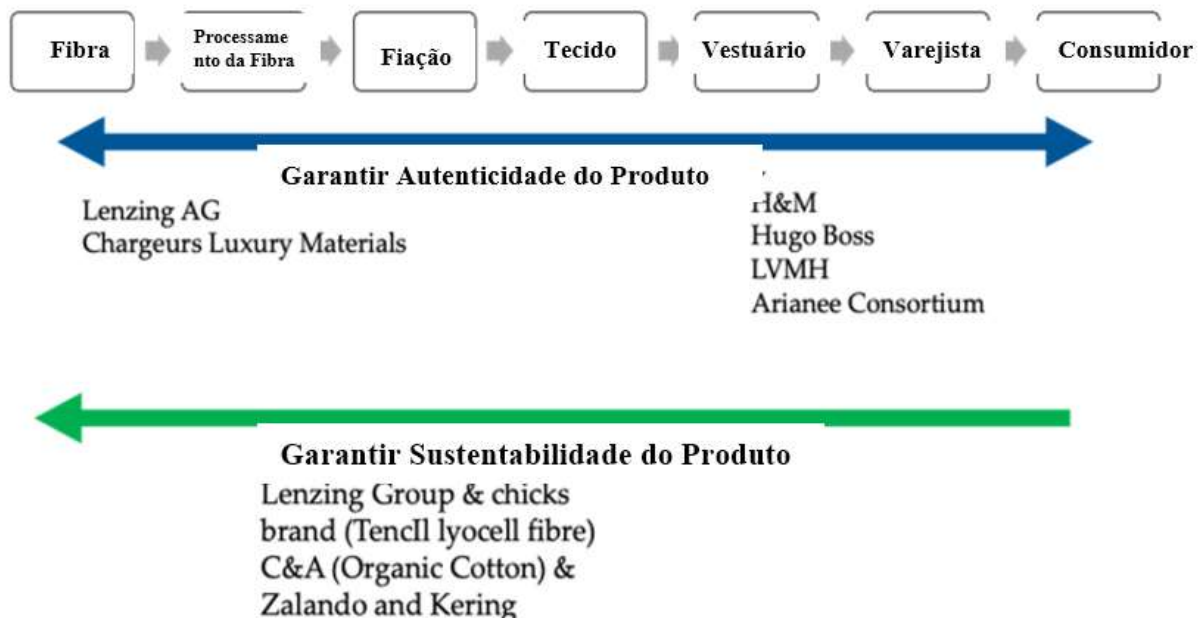
8.Lenzing AG	<ul style="list-style-type: none"> •Lenzing AG formou uma parceria com pioneiros em sustentabilidade <i>Schneider and Arnedanegls</i> para experimentar o rastreamento da fibra até o varejo utilizando a TBC.
--------------	---

Fonte: Adaptado de T.K. Agrawal et al (2021)

O escopo da rastreabilidade do produto na CS varia de acordo com a finalidade do projeto *blockchain*. Quando o objetivo é apenas garantir a autenticidade dos produtos, o escopo da rastreabilidade pode variar e incluir diferentes estágios na CS. Por exemplo, para autenticar uma peça de roupa da LVMH, o sistema de rastreabilidade pode começar na fase de fabricação da roupa, mas se o objetivo é garantir que a roupa seja feita de algodão orgânico, o escopo da rastreabilidade pode começar na fonte das matérias-primas ou do produtor de fibras (Agrawal et al, 2021).

Quando o objetivo da rastreabilidade é garantir a sustentabilidade dos produtos, devem ser incluídas as etapas anteriores da CS. No entanto, algumas aplicações podem ter como objetivo garantir a autenticidade e a sustentabilidade do produto ao implementar a rastreabilidade da CS. A **Figura 9** apresenta o alcance potencial e a direção da rastreabilidade nos principais estágios de agregação de valor para autenticidade e sustentabilidade do produto, com base aplicações atuais da TBC apresentados na Tabela 1.

Figura 9 - Aplicações da tecnologia blockchain na CS têxtil



Fonte: Adaptado de T.K. Agrawal et al (2021)

3.3 ESTUDO DE CASO DA TECNOLOGIA *BLOCKCHAIN* NA CS TÊXTIL

Neste tópico serão abordados dois estudos de caso onde realizou-se a implementação da tecnologia *blockchain* na prática. Primeiramente serão apresentados os estudos e seus resultados encontrados, que por sua vez serão discutidos e analisados posteriormente. O primeiro estudo realizado por Agrawal et al. (2021) tem como objetivo o desenvolvimento de uma *blockchain* no escopo de rastreabilidade do algodão orgânico e sua jornada na CS têxtil. O segundo estudo, por Ahmed et al. (2021) realiza o desenvolvimento de uma *blockchain* para rastreabilidade e transparência de um grande produtor de fibras de origem celulósica.

3.3.1 Aplicação da TBC na rastreabilidade e transparência do algodão orgânico

A aplicação do *framework* proposto é demonstrada através de um exemplo de programa *blockchain* escrito em *Python 3.7.2*, *HTML* e *Flask* (*framework web* baseado em *Python*). A *blockchain* é projetada para um canal conectando um cluster de parceiros da CS que comercializam algodão orgânico ou produtos à base de algodão orgânico. A CS começa com o fornecedor de algodão orgânico e passa por diferentes parceiros da cadeia de abastecimento até que o varejista obtenha o produto final (por exemplo, vestuário) com composição de algodão 100% orgânico (Agrawal et al., 2021). O exemplo demonstra a aplicação da estrutura baseada em *blockchain* no rastreamento de transações e coleta de informações cruciais de rastreabilidade. A seguir explica-se os principais participantes da *blockchain* de exemplo.

- Produtor/fornecedor de algodão orgânico (FAO): O fornecedor de algodão orgânico (FAO) é um cultivador ou fornecedor certificado (com várias fazendas) de algodão orgânico. O FAO é o único parceiro na cadeia de suprimentos que tem autoridade para adicionar a massa de algodão orgânico na cadeia de suprimentos e as transações correspondentes na *blockchain*, enquanto outros parceiros só podem transferir a massa de algodão orgânico em diferentes formas (Agrawal et al., 2021). Essa massa de algodão orgânico é constantemente monitorada com base na capacidade de produção da FAO. Além disso, uma agência certificadora monitora regularmente as fazendas e fornece um certificado com limite de tempo para autenticação do material, o que implica que

o FAO pode adicionar uma certa massa no registro compartilhado com base na validade do certificado (Agrawal et al., 2021). Cada transação contém as informações de dois sócios associados e uma determinada massa de algodão orgânico que é repassada entre os sócios associados.

- Fabricante de Fios (FF): O fabricante de fios representa uma fiação que recebe/compra a fibra de algodão orgânico do FAO e fabrica fios a partir dela. FF ainda divide os fios em diferentes lotes, cada um com uma determinada massa, transferindo-os para o próximo parceiro, o fabricante de tecidos. Cada lote é atribuído com um ID de Rastreabilidade exclusivo que inclui uma impressão do ID de Rastreabilidade anterior da fibra de algodão fornecida pelo FAO (Agrawal et al., 2021).
- Fabricante de tecidos (FT): O FT é uma tecelagem que recebe fios de algodão orgânico da FF, fisicamente e atualizados na transação em *blockchain* e posteriormente os transforma em tecidos. O FT divide os tecidos em lotes e os marca com um ID de Rastreabilidade exclusivo que inclui uma impressão do ID de Rastreabilidade anterior do lote de fios de algodão fornecido pela FF (Agrawal et al., 2021).
- Fabricante de Confeções (FC): O FC recebe uma determinada massa de tecido de algodão orgânico e os transforma em um produto acabado. A FC fabrica os vestuários e atribui a eles um novo ID de Rastreabilidade que inclui uma impressão do ID de Rastreabilidade anterior do tecido fornecido pelo FT (Agrawal et al., 2021).
- Varejista (VA): A Varejista recebe o produto acabado e pronto para venda da FC. Nesse ponto, eles podem se conectar à rede *blockchain* e acessar o livro-razão compartilhado. Assim, o RE pode rastrear todos os parceiros envolvidos na CS, conhecer a história do produto e garantir a origem e autenticidade do algodão orgânico (Agrawal et al., 2021).
- Contratos Inteligentes:

No exemplo dado, o conceito de balanceamento de massa é seguido para acompanhar a massa de algodão orgânico gerada e transferida na CS. O balanceamento de massa considera a entrada e saída de material junto com a massa atual acumulada no sistema. Cada transação que recodifica o fluxo de massa é rastreada e registrada no livro-razão compartilhado. A

transferência duplicada do mesmo valor/ativo é identificada pelo sistema de balanceamento de massa (Wills & Finch, 2016), que é escrito na forma matemática como:

$$\text{Entrada} = \text{Saída} + \text{Acumulação}$$

Onde, 'Entrada' refere-se à massa total de ativos que um parceiro da cadeia de suprimentos recebeu de outros parceiros da cadeia de suprimentos ou gerou, como no caso do produtor de algodão orgânico. Saída refere-se ao valor que foi transferido para outro fornecedor parceiros da cadeia e 'Acumulação' refere-se à massa deixada no estoque. Portanto, cada transação será validada com o balanceamento de massa para verificar se a massa de algodão orgânico permanece conservada e ligada à origem. O algoritmo verifica se o participante realmente possui a massa adequada de algodão orgânico que está sendo comercializada. Para manutenção de registros, segue-se o método Conta/Saldo. O algoritmo rastreia o saldo de ativos na conta *blockchain* de cada parceiro como um estado global no registro compartilhado. No caso em que um único parceiro fornece vários tipos de fibra (poliéster, acrílico, raiom, etc.) e, nos estágios posteriores, essas fibras acabem sendo misturadas, mistura íntima, o método Conta/Saldo é mais eficaz para manutenção de registros quando a mesma *blockchain* precisa lidar com vários tipos de ativos (Agrawal et al., 2021).

- Permissão:

Conforme explicado anteriormente, em uma *blockchain* privada, cada parceiro possui um ID exclusivo que é atribuído pelo provedor de serviços de registro. Além disso, um par de chaves públicas-privadas é gerado para autenticação do participante da CS na rede. Como as chaves públicas geralmente são um longo conjunto de dígitos aleatórios, o ID exclusivo é um identificador simplificado e facilmente comunicável para cada parceiro associado à sua chave pública individual (Agrawal et al., 2021). O par de chaves pública e privada para cada parceiro é gerado usando o algoritmo RSA (Rivest-Shamir-Adleman) (Rivest, Shamir, & Adleman, 1978). Da mesma forma, na *blockchain*, ao fazer uma transação; um parceiro de transferência inserirá seu ID exclusivo, chave privada e o ID exclusivo do destinatário. A interface web desenvolvida para gerar o par de chaves público-privadas e conectá-lo ao ID exclusivo atribuído é mostrada na Fig. 8. O par de chaves também pode ser usado para determinar os direitos de acesso de cada parceiro na rede *blockchain* (Agrawal et al., 2021).

- Consenso:

A *blockchain* exemplo é executada em um único sistema de computador. O primeiro par gera todas as transações; o segundo os valida contra o livro-razão compartilhado. Se

validadas, as transações são gravadas em um bloco que contém o ID do bloco, um *hash* do bloco anterior, transações e o endereço do par de validação (Agrawal et al., 2021).

- Transações:

A *blockchain* exemplo demonstra um cenário simples de negociação e transferência de algodão orgânico do fornecedor de fibra para o varejista em ordem sequencial, ou seja, simulando o fluxo de material em uma típica CS têxtil. Na prática, podem existir vários parceiros em cada estágio da cadeia de suprimentos que estão conectados na *blockchain* por diferentes canais. Da mesma forma, um participante da cadeia pode adquirir ativos de vários fornecedores e, posteriormente, transferir esses ativos para múltiplos compradores, como mostrado na **Figura 10**. Pode-se observar que um varejista pode ter múltiplos fornecedores em cada estágio da cadeia de suprimentos, com muitas permutações possíveis. No entanto, para facilitar o entendimento, um canal e quatro conjuntos de transações são executados em um canal e registrados no registro compartilhado (Agrawal et al., 2021).

Para fins demonstrativos, primeiro uma transação é realizada por um parceiro da cadeia de suprimentos usando a interface “*Trade Organic Cotton*” (conforme mostrado na Figura 11) e, em seguida, é verificada e registrada como um bloco na *blockchain*. A interface coleta o ID exclusivo do remetente, a chave privada do remetente e o ID exclusivo do destinatário, sendo feita uma verificação se o remetente é válido e se possui os bens necessários para as transações (Agrawal et al., 2021). Se ambas as condições forem alcançadas, a transação é gravada na *blockchain* e os ativos transferidos são atualizados nas contas dos respectivos participantes da CS. A Figura 10 demonstra a transação entre o fornecedor de algodão orgânico e o fabricante de fios da Turquia, onde o remetente insere seu ID exclusivo e chave privada, juntamente com o ID exclusivo do destinatário, neste caso, o fabricante do fio, juntamente com as unidades a serem transferidas (Agrawal et al., 2021).

Conforme explicado anteriormente, apenas a FAO tem permissão para adicionar nova massa de algodão orgânico no livro-razão compartilhado e posteriormente na CS. Portanto, conforme mostrado na **Figura 11**, o FAO usa sua chave pública/privada, gera o bloco gênese (Bloco 0) e adiciona 200U (unidades) de algodão orgânico em sua conta no livro-razão. Este bloco é então *hashed*, adicionado a rede, e atua como um ponto de partida da *blockchain* (Agrawal et al., 2021). O FAO realiza outra transação na qual 100U de algodão orgânico são repassados aos fabricantes de fios (FF1 e FF2) respectivamente. Isso é registrado no Bloco 1, que é *hashed* e o valor é atualizado no livro-razão compartilhado. Depois disso, a FF1 transfere 75U de algodão orgânico (na forma de fio) para o fabricante de tecidos (FT1) e

retém um saldo de 25U. A transação é novamente validada no livro-razão, registrada no novo Bloco 2 e *hashed*. Posteriormente, a FT1 fabrica tecidos a partir dos 75U obtidos de algodão orgânico (na forma de fios) e transfere 50U para a confeccionista (FC1) na forma de tecidos. A transação segue novamente as mesmas etapas de validação e forma um novo Bloco 3. Por fim, a FC1 constrói o produto orgânico a partir desse algodão orgânico 50U (na forma de vestimenta) e o repassa ao varejista. Esta transação é validada e registrada como Bloco 4.

Figura 10 - Interface para geração da chave pública e privada

Identity Service Provider

Click on the button below to generate a unique public/private Key pair for a supply chain partner

[Generate Public/Private Key](#)

Unique ID: `OrganicCottonSupplierTurkey000000`

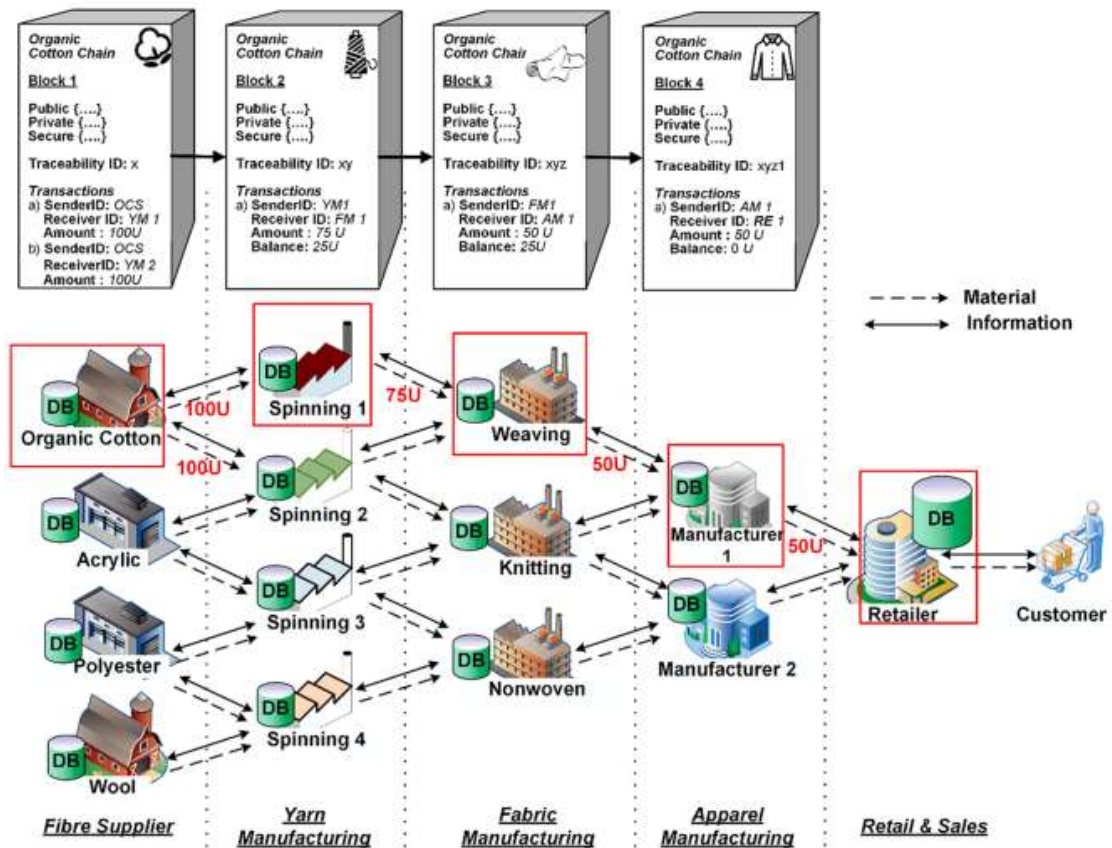
Public Key: `30819f300d06092a864886f70d010101050003818d0030818902818100a2d6daa39aa236dcb768552136ddf4596f2ccb9e99db988a00363897084422a9eb0889bde2c048dc952874b19e9fe9ca5a17253344721954c50c9f8cc3540566d7b61e0a8c1c6f31ebcf82c6a4d96 e9ce03208dee1514fd07f990f69bd7102ba76e1e01a017853895b5ee3dae0ffc20988c4606373de9c941980df5f6dcc530203010001`

Private Key: `3082025e02010002818100a2d6daa39aa236dcb768552136ddf4596f2ccb9e99db988a00363897084422a9eb0889bde2c048dc952874b19e9fe9ca5a17253344721954c50c9f8cc3540566d7b61e0a8c1c6f31ebcf82c6a4d96de9ce03208dee1514fd07f990f69bd7102ba76e1e01a017853895b5ee3dae0ffc20988c4606373de9c941980df5f6dcc5302030100010281801ba3c470c8aa880d66c43aceec753828860a6075874012e039b0fa62087128411737d7c9775794067fae4f3d12ceb8e0144b477c3426ab24cd01bb4d4e2ca17a96357cc81270c9f9d61e4ba98f772da57646299c7bf381cb8e513fa08eda6e544aa1e01a017853895b5ee3dae0ffc20988c4606373de9c941980df5f6dcc530203010001`

[Save the Identity](#)

Fonte: T.K. Agrawal et al (2021)

Figura 11 - Transações na Blockchain dentro da CS têxtil



Fonte: T.K. Agrawal et al (2021)

Figura 12 - Interface web para realizar transações

Trade Organic Cotton

Enter transaction details and click on "Transfer" button to transfer your asset

Sender Unique ID:	OrganicCottonSupplierTurkey000000
Sender Private Key:	30802025e02010002812100a2d6daa399aa236dcb768552136ddf4596f2ccb9e99db988a0036389708442
Recipient Unique ID:	YarnManufacturerTurkey000000
Amount to Send:	100U

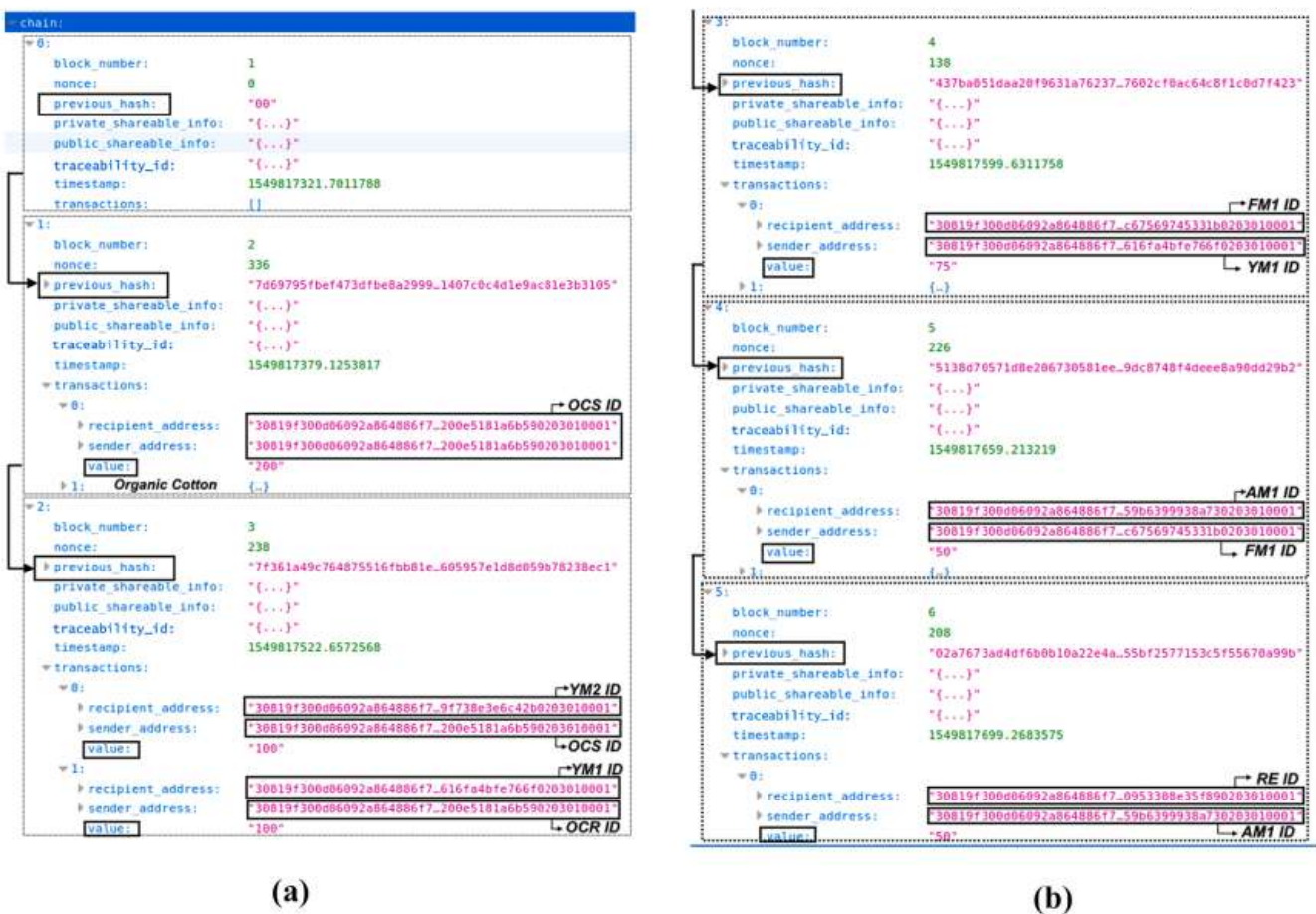
Transfer

Fonte: T.K. Agrawal et al (2021)

Neste ponto, o Varejista pode rastrear todas as transações subsequentes na *blockchain* acessando as entradas do livro razão compartilhado e validar a autenticidade do algodão no produto orgânico (Agrawal et al., 2021). Um *snapshot* da interface web é mostrado na **Figura 12**, que mostra todas as transações que ocorreram no cenário de exemplo

junto com o *timestamp* de cada transação. A figura mostra os detalhes relacionados a cada transação com o ID exclusivo dos participantes, o valor negociado e o nó validador com a hora da transação. Isso permitiria rastreabilidade segura na CS com uma confiança baseada na TBC. A **Figura 13** também mostra as transações e seu bloqueio dos dados à medida que as transações ocorrem. Destacando os parceiros envolvidos na transação, valor do ativo, *hash* anterior, *nonce*, *timestamps* e como os blocos estão vinculados com o bloco anterior e próximo formando a cadeia de transações (Agrawal et al., 2021).

Figura 13 - Transações realizadas na blockchain piloto



Fonte: T.K. Agrawal et al (2021)

3.3.2 Rastreabilidade de fibras sintéticas utilizando a TBC como sistema de rastreamento e autenticação de transações

Lenzing AG, uma empresa austríaca, é líder mundial na produção de fibras de celulose sustentáveis e biodegradáveis. A Lenzing produz três tipos de fibra: a fibra Lyocell, a

fibra modal, e a fibra de viscose. A empresa obtém madeira de florestas certificadas e realiza a produção de celulose em suas instalações na Áustria e na República Tcheca (Ahmed et al. 2021). Para suas outras fábricas, a Lenzing obtém celulose de produtores qualificados. Existem três aplicações principais para as fibras Lenzing: aplicações têxteis e de vestuário, aplicações de não tecidos e aplicações industriais. Cada uma dessas aplicações leva a uma configuração diferente dos parceiros envolvidos na CS.

A empresa colaborou com o provedor de soluções, *TextileGenesis* que desenvolveu uma plataforma baseada em *blockchain* para rastreabilidade da fibra ao varejo. A TBC da *TextileGenesis* é uma plataforma em nuvem baseada no *Hyperledger Fabric* (Hyperledger, 2022). (Disponível em: <https://www.hyperledger.org>. Acesso em: 16 de novembro de 2022), permitindo fácil acesso e integração com outros sistemas.

A plataforma *TextileGenesis* adota os padrões globais de rastreabilidade GS1, que são usados principalmente nos setores de saúde e alimentos, para criar fibras padrões de dados de rastreabilidade de varejo para as indústrias têxtil e de vestuário (Ahmed et al. 2021). O uso da TBC junto com a estrutura padrão GS1 permite que a plataforma *TextileGenesis* seja uma solução industrial fácil de adotar que pode rastrear qualquer tipo de fibra têxtil. A plataforma captura as informações das transações de remessa das fibras, incluindo faturas e ordens de compra, e rastreia o volume de fibra transportada e produzida usando *fibercoins*, que são tokens digitais baseados em *blockchain* que representam os ativos têxteis na plataforma TG (por exemplo, fibra, fio, tecido e/ou vestuário) e não estão vinculados a nenhuma valorização de mercado ou são comercializadas de qualquer forma (Ahmed et al. 2021).

A ligação entre o material têxtil físico e as moedas de fibra é capturada e validada por meio de auditorias forenses para os produtos têxteis físicos (Ahmed et al. 2021). A Lenzing usa rastreadores embutidos em suas fibras que podem ser verificados nos diferentes estágios da CS por meio de uma auditoria.

De forma simplificada temos que uma *Fibercoin* representa uma unidade de volume de fibra que permite pesos fracionários. Assim como no estudo anterior, somente os produtores de fibra podem criar *fibercoins* e só podem transferir uma quantidade igual ou menor de fibras que a quantidade total de fibra física que possuem. Os produtores de fibras enviam fibras para outros membros da CS que são equivalentes à quantidade de fibra física capturada na transação de remessa. Ao rastrear o fluxo das fibras limitadas através da plataforma, o produtor de fibra pode saber onde seus produtos estão sendo usados na CS têxtil que se origina após a produção da fibra. Da mesma forma, ao receber as *fibercoins* com as

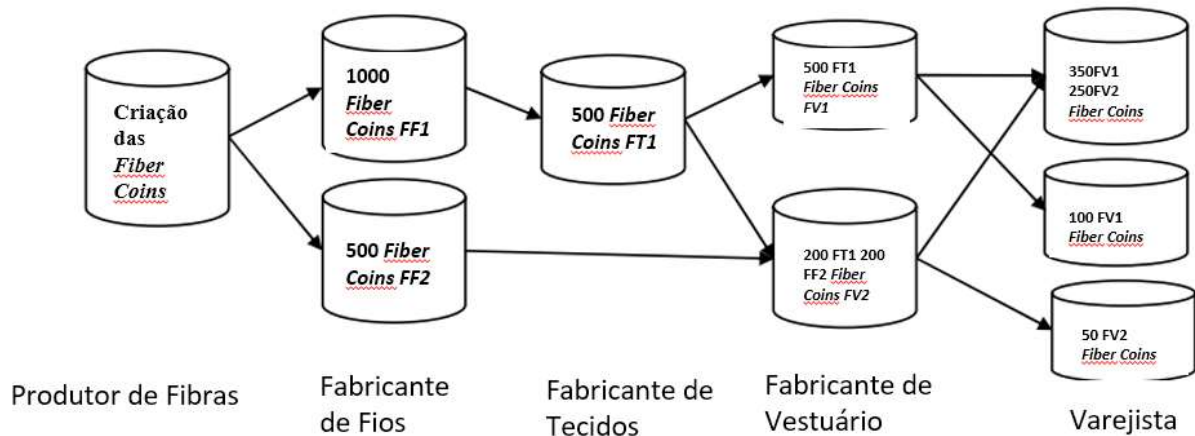
roupas acabadas, a marca ou varejista pode identificar a origem de seus produtos (Ahmed et al. 2021).

A plataforma *TextileGenesis* espelha o fluxo das *fibercoins* com as fibras físicas na CS. A *TextileGenesis* não usa a abordagem de balanceamento de massa, mas captura a composição de cada artigo e a porcentagem média de desperdício em cada estágio de produção na CS para calcular com precisão a quantidade de fibras produzidas, armazenadas e transferidas. No projeto-piloto da *blockchain* Lenzing, uma fibra representa 1kg de fibra Lenzing. Para cada transação de remessa que a Lenzing envia para uma fiação, uma quantidade equivalente de fibras é criada e transferida para esse mesmo parceiro. A *TextileGenesis* então captura os detalhes da produção do fio na instalação da fiação, incluindo proporções de mistura, ID do fio e desperdício médio, e quando a fiação envia uma remessa de fio para o fabricante de tecido e/ou produtor de vestuário, uma quantidade equivalente de moedas de fibra é calculado com base nas informações de produção e é transferido da fiação para o receptor dos fios (Ahmed et al. 2021). A plataforma *TextileGenesis* captura essa transação e atualiza os saldos da conta de fibra da fiação e do recebedor dos fios. O mesmo processo ocorre nas diferentes etapas da CS para garantir que os saldos de fibra coincidam com a quantidade do produto físico.

Todas as transações de *fibercoin* são registradas na plataforma *TextileGenesis*, alimentada pela TBC, e estão vinculadas às transações de remessa emitidas pelas respectivas empresas (Ahmed et al. 2021). O uso de *fibercoins* acompanha o volume de fibra em toda a CS até a etapa final. Além disso, a plataforma pode sinalizar quaisquer transações em massa ou discrepâncias entre o estoque físico e os saldos de *fibercoins*, ou seja, os volumes de fibra capturados nos documentos de embarque e as transações de *fibercoins*, e indicar a necessidade de uma auditoria (Ahmed et al. 2021).

A validação cruzada das transações também é suportada pela plataforma *TextileGenesis*, já que, em cada etapa, o destinatário da fibra deve confirmar as quantidades físicas que lhe são enviadas pelo remetente e sua quantidade equivalente de *fibercoins* (Ahmed et al. 2021). Um exemplo ilustrativo é apresentado na **Figura 14**. A *TextileGenesis* captura todas as transações de embarque entre as seis principais etapas da cadeia de suprimentos de vestuário: produtor de fibra, fiação, tecido, acabamento, fabricante de vestuário e, por fim, varejista.

Figura 14 - Exemplo ilustrativo de FiberCoins sendo distribuídas na CS



Fonte: Adaptado de Ahmed et al. 2021

Nenhum dado confidencial ou comercial é compartilhado na plataforma *TextileGenesis* e uma quantidade mínima de dados é necessária dos diferentes parceiros da cadeia para facilitar o nível desejado de rastreabilidade da CS. Isso ajudou a superar o problema da relutância dos parceiros em compartilhar informações, simplificando seu envolvimento na solução. Além disso, diferentes direitos de acesso são concedidos aos parceiros (Ahmed et al. 2021). A visibilidade total da cadeia de suprimentos é concedida aos varejistas da marca. A Lenzing conhece a localização de outros parceiros e seus saldos de estoque de fibra Lenzing. Outros parceiros da CS entre o produtor de fibra e o proprietário da marca ou varejista recebem visibilidade limitada dos dados da *blockchain*, com acesso a apenas uma etapa acima e uma etapa abaixo da cadeia (Ahmed et al. 2021). A Tabela 2 mostra exemplos do tipo de informação compartilhada e acessada por cada parceiro da cadeia de suprimentos no projeto piloto da Lenzing.

Tabela 2 - Tipos de informação compartilhadas e acessadas na *TextileGenesis*

	Dados Inseridos	Dados Acessados
Produtores de Fibra	<ul style="list-style-type: none"> •Todas as transações que saem (referencias de transporte, nota fiscal, nome do cliente) •Tipo de Fibra •Volume 	<ul style="list-style-type: none"> •Todos os parceiros da CS, localização e certificados •Resultados de auditoria por toda CS •Inventário de <i>fibercoins</i> pela CS
Fabricantes de Fios	<ul style="list-style-type: none"> •Todas as transações que saem e entram (referencias de transporte, nota fiscal, nome do cliente/fornecedor) •ID do fio •Proporção de mistura íntima •Volume 	<ul style="list-style-type: none"> •Transações recebidas do fornecedor •Informação sobre auditorias realizadas no fabricante
Fabricantes de Tecidos/Malhas	<ul style="list-style-type: none"> •Todas as transações que saem (referencias de transporte, nota fiscal, nome do cliente/fornecedor) •ID do tecido/malha •Proporção de tecido ou malha •Volume e dimensões 	<ul style="list-style-type: none"> •Transações recebidas do fornecedor •Informação sobre auditorias realizadas no fabricante
Fabricantes de Vestuário	<ul style="list-style-type: none"> •Todas as transações que saem e entram (referencias de transporte, nota fiscal, nome do cliente/fornecedor) •ID do vestuário •Tipos de vestuários •Volume e dimensões 	<ul style="list-style-type: none"> •Transações recebidas do fornecedor •Informação sobre auditorias realizadas no fabricante
Varejistas	<ul style="list-style-type: none"> •Todas as transações que entram (referencias de transporte, nota fiscal, nome do cliente/fornecedor) •ID do vestuário •Tipos de vestuários •Volume e dimensões 	<ul style="list-style-type: none"> •Nome, localização e certificados de todos os membros da rede. •Resultados de auditorias por toda CS.

Fonte: Adaptado de Ahmed et al. 2021

3.4 CONCEITO DE ETIQUETA PARA RASTREAMENTO DE VESTUÁRIO

Como visto nos estudos abordados neste trabalho, tem-se que a CS pode ser completamente mapeada e inserida na *blockchain* a fim de tornar 100% possível o

rastreamento da matéria-prima, produtos, processos e parceiros envolvidos na produção de qualquer produto oriundo da CS têxtil. Porém, um ponto importante é como o consumidor final receberá esta informação e com qual facilidade ele pode ter acesso a esta informação antes de realizar a compra no varejista.

Um conceito que pode ser analisado de forma teórica neste trabalho é a inserção de códigos QR na etiqueta que acompanham a peça. Uma etiqueta de composição e a etiqueta do produtor do vestuário já trazem diversas informações pertinentes ao produto como, processo de lavagem, composição de fibras, produtor e origem do produto. Adicionar um código QR que aponta para um *site* ou aplicativo para acesso do consumidor final é a porta de entrada do consumidor para a TBC e a rastreabilidade que esta proporciona. Na Figura 15 pode-se ver que a varejista Renner já tem em uma de suas peças de vestuário um código QR que aponta para a página que mostra toda a “história da peça”, ou seja, informa ao consumidor sua origem, processos e parceiros que atuaram na fabricação deste vestuário.

Figura 15 - Código QR em uma peça de vestuário



Fonte: SVBC, 2022

A utilização da TBC não alteraria esta abordagem ao consumidor final, mas garantia, por meio da tecnologia inerente da sua funcionalidade, características de imutabilidade e rastreabilidade que podem corroboradas e autenticadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os estudos apresentados trazem um exemplo de uma estrutura de rastreabilidade baseada em *blockchain* para a cadeia de suprimentos têxteis. O primeiro estudo fornece uma estrutura *blockchain* para implementação de rastreabilidade da CS do algodão orgânico. Além disso, a estrutura proposta é ilustrada operacionalmente para rastreabilidade da fibra por meio do mecanismo de validação de balanceamento de massa. O principal resultado do estudo é uma demonstração baseada em simulação de configuração de rede e protocolo de interação de parceiros no contexto de uma CS complexa, usando uma estrutura de rastreabilidade baseada em *blockchain*. A demonstração mostra como garantir a segurança dos dados, a troca de informações de rastreabilidade e desenvolver confiança baseada na TBC com a adição de um contrato inteligente. Os principais resultados da simulação realizada em dois cenários formulados sugerem atraso na formação do bloco quando a complexidade do *nonce* aumenta e quando o número de transações por bloco aumenta (Agrawal et al., 2021).

O estudo realizado por Agrawal et al. (2021) traz contribuições não apenas para a literatura científica sobre *blockchain* e do GCS, mas também no setor industrial têxtil. O trabalho de demonstração realizado fornece prova baseada em evidências de como os aspectos críticos da integração *blockchain*-GCS devem ser operacionalizados.

Se tratando das implicações práticas do estudo, foi demonstrado ser possível desenvolver uma *blockchain* para produtos de algodão orgânico e testá-lo em vários cenários diferentes na CS, podendo ser um ponto de entrada importante para vários projetos-piloto de aplicações da TBC em andamento. Como, por exemplo, o projeto de capacitação da UNECE para implementação de *blockchain* para rastreabilidade e devida diligência na cadeia de valor do algodão, principalmente criando compreensão dos fatores críticos de sucesso e facilitadores da implementação. Isso, em particular, está relacionado à compreensão do design do sistema *blockchain*, baseado na construção de tecnologia de contabilidade distribuída, contratos inteligentes, economia de tokens segura e confiável (Agrawal et al., 2021). Os resultados da simulação podem ser pontos de partida interessantes para avaliar a viabilidade de vários desses pilotos de *blockchain*, como o projeto UNIDO's *Egyptian Cotton Project* (Weghofer et al., 2020).

Posteriormente, a Lenzing utiliza da solução *blockchain* para garantir a autenticidade de suas fibras sustentáveis nos produtos ao consumidor final e no combate à falsificação. O

uso de rastreadores incorporados e tecnologia *blockchain* ajudou a Lenzing a identificar e rastrear sua fibra em sua CS. A plataforma baseada em *blockchain* também suporta o compartilhamento seguro de informações entre os parceiros dispersos da cadeia e o fornecimento de uma única fonte de dados, onde os participantes podem acessar, compartilhar e validar seus dados, práticas e certificações de sustentabilidade. Compartilhar informações e certificações relacionadas à sustentabilidade permite que a Lenzing garanta que suas fibras sejam usadas de maneira sustentável. Isso também é importante para marcas e varejistas que podem identificar, por meio da plataforma *blockchain*, todas as credenciais de sustentabilidade dos fornecedores em sua rede. O uso de uma empresa de auditoria terceirizada para validar os dados capturados na plataforma *blockchain* em toda a CS ainda é crucial para garantir a validade dos dados de rastreabilidade e verificar o vínculo entre o mundo físico e o digital (Ahmed et al. 2021). Pode-se argumentar que as auditorias externas constituirão uma parte importante das abordagens e padrões futuros que visam permitir a rastreabilidade da cadeia de suprimentos usando a TBC. Este processo ainda se faz necessário, visto que, a tecnologia está em sua fase inicial de compreensão e implementação. Futuramente espera-se que intermediários e auditores não serão mais necessários e que a própria tecnologia será a única entidade que auditará a CS e seus parceiros.

Considerando os recursos da plataforma *TextileGenesis*, os autores argumentam que ela fornece rastreabilidade da CS em um nível alto, ou seja, em um nível detalhado. A plataforma *TextileGenesis* permite identificar o produtor da fibra e as diferentes fases de processamento que ocorrem até a venda final. O uso de rastreadores embutidos pode identificar que as fibras utilizadas são da Lenzing. No entanto, a plataforma não oferece suporte à rastreabilidade da CS em um nível mais granular, como nível de lote ou nível de unidade de vestuário, uma vez que o vínculo entre o produto físico e os tokens digitais nesses níveis de granularidade não é estabelecido (Ahmed et al. 2021).

A dimensão vertical da rastreabilidade da cadeia investiga o nível de granularidade almejado pelo sistema de rastreabilidade da CS. A granularidade é definida como “diferentes níveis de unidades rastreáveis e são determinados pelo tamanho de uma unidade rastreável e o número das menores unidades rastreáveis necessárias para compor a unidade rastreável em um nível de granularidade específico” (Karlsen et al., 2012). Dasaklis et al. (2019) adotou diretrizes GS1 para definir três níveis diferentes de granularidade na rastreabilidade, sendo estas: partes interessadas, processos e unidades. A diretriz GS1 de rastreabilidade define requisitos mínimos e regras para que um sistema de rastreabilidade seja desenvolvido e

implementado sendo agrupados ao redor de uma matriz de funções e responsabilidades para cada etapa do processo de rastreabilidade (GS1br, 2016).

Quanto maior o nível de granularidade exigido para a solução de rastreabilidade na CS, maiores serão os custos e mais complexa se tornará a solução de rastreabilidade. Isso afeta a implementação e praticabilidade de um sistema de rastreabilidade (Karlsen et al., 2012). Portanto, é crucial encontrar o nível ideal de granularidade para o sistema de rastreabilidade onde os benefícios superam os custos (Aiello et al., 2015), onde o nível de granularidade ideal pode diferir dependendo das características da CS analisada (Aiello et al., 2015).

Na CS têxtil, tem-se que os níveis mais altos de granularidade indicam a rastreabilidade nos níveis de lote ou unidade de vestuário, ou seja, rastreamento do vestuário vendido pelo varejista ao consumidor final. No entanto, o valor gerado ou percebido a partir do nível mais alto de granularidade difere entre setores e configurações de CS, dependendo fortemente de suas características. Por exemplo, na indústria têxtil e de vestuário, esse nível de rastreabilidade foi alcançado na *blockchain* piloto da Provenance (Provenance, 2015), que visava rastrear um vestuário da marca *Martine Jarlgaard* em sua cadeia de suprimentos baseada no Reino Unido (FIA *Blockchain for Transparency*, 2021). No entanto, seria muito mais desafiador implementar esse nível de rastreabilidade em redes de varejistas que comercializam centenas de peças todos os dias, como por exemplo a varejista C&A.

Considerando as duas dimensões da rastreabilidade da cadeia de suprimentos, fica claro que a Lenzing visa alcançar a rastreabilidade horizontal parcial da cadeia de suprimentos em um baixo nível de granularidade. A solução *blockchain* adotada pela Lenzing permite a rastreabilidade da fibra após a saída de suas instalações. Começa nos produtores de fibra e se estende até o varejista da marca, mas não inclui os fornecedores da Lenzing da indústria madeireira. A Lenzing conta com as certificações de seus fornecedores para garantir a sustentabilidade de sua madeira (Ahmed et al. 2021). Para permitir uma rastreabilidade mais horizontal da cadeia de suprimentos, a Lenzing poderia considerar estender seu sistema de rastreabilidade na *blockchain* para a origem da madeira que utiliza na confecção de suas fibras celulósicas. Além da rastreabilidade da madeira, a *blockchain* pode potencialmente transformar a indústria florestal, melhorando a transparência e simplificando os processos de documentação em toda a cadeia (Murray et al., 2020). A TBC fornece uma maneira segura de capturar todas as informações relacionadas ao corte de madeira, extração de madeira e

transporte rio acima, que podem ser usadas para certificar sua origem e proibir práticas ilegais (Figorilli et al., 2018).

Os requisitos gerais para rastreabilidade do produto indicados na lista de verificação da ISO 9001 são: “(1) estabelecer a identidade e o status dos produtos, (2) manter a identificação e o status dos produtos e (3) manter um registro de série e/ou lote números.” (ISO 9001). Uma questão importante que está ligada ao nível exigido de rastreabilidade é como a unidade de rastreabilidade é identificada e rastreada em toda a cadeia de suprimentos (Aiello et al., 2015). A criação de um ‘gêmeo digital’ é um pré-requisito para o sucesso de uma solução de rastreabilidade. Estabelecer um gêmeo digital preciso e confiável é fundamental para garantir a credibilidade do sistema de rastreabilidade e a validade de seus dados (Ahmed et al. 2021).

A identificação do produto não é um processo simples. Varia de acordo com a natureza do produto e seus processos de fabricação. Várias técnicas podem ser usadas para identificação de produtos têxteis em uma cadeia de suprimentos, incluindo rastreadores embutidos no produto, códigos de barras e etiquetas. Posteriormente estes produtos possuíram seus próprios códigos de identificação e poderão ser representados por *NFT's – Non-fungible Tokens* que retém a identidade única de cada peça, sendo únicos na *blockchain*, possibilitando sua rastreabilidade para além da CS têxtil e sendo rastreável por qualquer usuário com acesso a *blockchain*.

A etiquetagem de peças de vestuário que provem informações importantes do processamento da fibra e as etapas de processamento envolvendo uma vestimenta específica são grandes avanços na transparência e rastreabilidade da CS têxtil. Contudo, estas práticas são alcançadas somente por grandes varejistas que produzem peças nos milhares todos os meses, portanto, conseguem controlar todas as etapas da cadeia produtiva. Quando se analisa marcas de menor produção pode-se dizer que a rastreabilidade e transparência do processo de confecção se perde nestas etapas produtivas. Não necessariamente estas marcas realizarão seu processo de fabricação interna, mas delegarão as etapas de fabricação a outras empresas que realizarão da forma que melhor garantirá sua margem de lucro em cada operação realizada até a entrega da peça final ao cliente.

5 CONCLUSÃO

Existem possibilidades ilimitadas para implementação da TBC. No entanto, a tecnologia ainda está em seu estágio emergente. A análise e quantificação adequadas do impacto de diferentes variáveis como tamanho da empresa, setor da indústria, equipe de TI, infraestrutura e estrutura organizacional para casos reais são necessárias para sua adoção e implementação.

Além disso, a análise de impacto por meio de uma simulação pode ser feita para a implementação da *blockchain* a fim de escalá-la em uma plataforma maior. Os fatores críticos de sucesso responsáveis pelo sucesso da adoção e implementação da tecnologia devem ser explorados mais detalhadamente. Uma análise mais aprofundada sobre como a combinação de tecnologia *blockchain* e a *Internet of Things (IoT)* afetaria o desempenho da CS têxtil deve ser conduzida (Rejeb et al., 2019). Outra necessidade é a exploração de um padrão comum em diferentes plataformas *blockchain* para que seja possível conectá-las em nível global (Kumar et al., 2020).

Promover a logística reversa sustentável e uma CS de circuito fechado para reutilização, reforma e reciclagem é um tema de pesquisa cada vez maior, especialmente para produção mais limpa e uma economia circular (Das e Dutta, 2016; Dutta et al., 2016). O uso da TBC e *IoT* para implementação efetiva de gerenciamento de devolução de produtos melhoraria as práticas de logística reversa, incluindo conscientização social e diretrizes de legislação pelos governos.

A fabricação sustentável é considerada o futuro, pois ajuda a empresa e o meio ambiente a longo prazo. Recomenda-se que pequenas e médias empresas implementem a tecnologia *blockchain* formando um cluster logístico e compartilhando transporte e armazenamento autônomos para obter uma vantagem sustentável de longo prazo (Gružauskas et al., 2018).

Internet física, um novo conceito que pode ajudar a CS a resolver problemas de confiança de dados, forneceria uma base de clientes maior e ajudaria a avançar para uma infraestrutura mais digitalizada, beneficiando a empresa no longo prazo (Meyer et al., 2019). Portanto, combinar *blockchain* com tecnologias complementares, como *big data*, *cloud computing* (computação em nuvem) e *machine learning* (aprendizado de máquina), pode

aumentar ainda mais a eficácia da aplicação da TBC em CS e seu impacto na sustentabilidade social, ambiental e em uma econômica circular.

As diferentes soluções de *blockchain* e outras tecnologias na indústria podem possibilitar a identificação digital de matérias-primas, processos e acabamentos, que se mostram promissoras para o desenvolvimento de uma solução completa de rastreabilidade desde a fibra até a peça de vestuário.

Uma vez que este trabalho é conceitual e baseado em revisão literária que fornece uma perspectiva holística, pesquisas adicionais, tanto em aspectos empíricos quanto não empíricos devem ser feitas para fundamentar as melhores práticas de rastreabilidade. Além disso, do ponto de vista organizacional, pesquisas futuras podem ser focadas em como a rastreabilidade pode ser implementada em uma cadeia de suprimentos sem comprometer ou minimamente impactar a relação entre os parceiros da cadeia têxtil.

5.1 SUGESTÕES FUTURAS

Com base no que foi apresentado e de acordo com o tema, sua complexidade e seu potencial, pretende-se apresentar futuros trabalhos em tese de mestrado ou como estudo de campo:

- a) Acompanhamento da aplicação da TBC em empresas têxteis;
- b) Análise da viabilidade econômica da implementação e utilização da TBC na CS têxtil;
- c) Análise da interação de outras tecnologias como *IoT*, Indústria 4.0, *cloudcomputing*, etc., com a TBC;
- d) Desenvolvimento de aplicativos ou *sites* para acesso e clareza de dados ao consumidor final;
- e) Possível desenvolvimento de uma *blockchain* descentralizada para o rastreamento e transparência da CS têxtil;
- f) Identificação de vestuário na *blockchain* por intermédio de NFT's.

REFERÊNCIAS

AGRAWAL, T. K., KOEHL, L., & CAMPAGNE, C. 2016. **Cryptographic tracking tags for traceability in textiles and clothing supply chain**. In: X. Zeng, J. Lu, E. E. Kerre, L. Martinez & L. Koehl (Eds.), *Uncertainty Modelling in Knowledge Engineering and Decision Making: Proceedings of the 12th International FLINS Conference* (pp. 800–805). Singapore: World Scientific.

AGRAWAL, T.K.; KUMAR, V.; Pal, R.; WANG, L.; CHEN, Y. 2021. **Blockchain-Based Framework for Supply Chain Traceability: A Case Example of Textile and Clothing Industry**. *Comput. Ind. Eng.*

AGRAWAL, T. K.; PAL, R. 2019. **Traceability in Textile and Clothing Supply Chains: Classifying Implementation Factors and Information Sets via Delphi Study**.

AHMED, W.A.H.; MACCARTHY, B.L. 2022. **Blockchain Technology in the Supply Chain: Learning from Emerging Ecosystems and Industry Consortia**. In: Baumann, Sabine (Ed). *Handbook on Digital Business Ecosystems: Strategies, Platforms, Technologies, Governance and Societal Challenges*, Edward Elgar: Cheltenham.

AIELLO, G., ENEA, M, MURIANA, C, 2015. **The expected value of the traceability information**. Disponível em: <https://ideas.repec.org/s/eee/ejores.html>. Elsevier, vol. 244(1), páginas 176-186. Acesso em: 21 set. 2022.

ANDREW, S. 2018. **Hugo Boss: studying blockchain to track goods in its supply chain**. Disponível em: <http://www.scfbriefing.com/how-hugo-boss-usesblockchain-to-track-goods-in-its-supply-chain/>. Acesso em: 23 set. 2022.

ARIANEE. **Digital Identity Standard For All Valuables**. 2020. Disponível em: <https://www.arianee.org/about-arianee>. Acesso em: 07 de set. 2022.

BAUMAN, D., LINDBLOM, P., & OLSSON, C. 2016. **Blockchain - Decentralized Trust**. Disponível em: http://entreprenorskapsforum.se/wpcontent/uploads/2016/10/NaPo_Blockchain_webb.pdf. Acesso em: 05 set. 2022.

BOSTON CONSULTING GROUP. **Fashion for Good**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2007.11.006>. Acesso em: 12 set. 2022.

CANOPY PLANET. **About Us—Canopy** 2020. Disponível em: <https://canopyplanet.org/about-us/>. Acesso em: 15 set. 2022.

CHARGEURS. **Chargeurs Luxury Materials Increases the Marketing Clout of Its Organica Precious Fiber-Labeled Wool Thanks to RWS Certification**. 2018. Disponível em: <https://www.chargeurs.com/wp-content/uploads/2019/05/13-2018.12.03-Chargeurs-Luxury-Materials-increases-the-marketing-clout-of-its-Organica-Precious-Fiber-labeled-wool-thanks-to-RWS-certification.pdf>. Acesso em: 29 set. 2022.

CHRISTIDIS, K.; DEVETSIKIOTIS, M., 2016. **Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things**. volume 4, páginas 2292–2303.

CONG, W., HE, Z., ZHENG, J. 2019. **Blockchain Disruption and Smart Contracts**. SSRN Electronic Journal.

CONSENSYS. LVMH, **ConsenSys, and Microsoft Announce Consortium for Luxury Industry**. 2019. Disponível em: <https://consensys.net/blog/press-release/lvmh-microsoft-consensys-announce-aura-to-power-luxury-industry/>. Acesso em: 12 set. 2022.

DAS, D., DUTTA, P., 2016. **Performance analysis of a closed-loop supply chain with incentive dependent demand and return**. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 86, 621–639.

DASAKLIS, T.K.; CASINO, F.; PATSAKIS, C.; DOULIGERIS, C. 2019. **A Framework for Supply Chain Traceability Based on Blockchain Tokens**. In Proceedings of the International Conference on Business Process Management (BPM) Vienna, Austria, September 1–6, 2019; Springer Cham 2019; pp. 704–716.

DE BRITO, M. P., CARBONE, V., & BLANQUART, C. M. 2008. **Towards a sustainable fashion retail supply chain in Europe: organisation and performance**. International Journal of Production Economics, 114(2), 534–553.

DE SOUZA NETO, A. B., **Blockchain Como Alternativa Para Autenticação E Controle De Acesso Em Internet Das Coisas**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Sistemas da Informação, Universidade Federal do Ceará, Quixadá, 2018.

DUTTA, P., DAS, D., SCHULTMANN, F., FRÖHLING, M., 2016. **Design and planning of a closed-loop supply chain with three way recovery and buy-back offer**. J. Cleaner Prod. 135, 604–619.

DUTTA, P., CHOI, T. M., SOMANI, S., BUTALA, R. 2020. **Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities**. In: Transportation research part e: Logistics and transportation review. pp. 142. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102067>. Acesso em: 18 ago. 2022.

EGELS-ZANDÉN, N., HULTHÉN, K., & WULFF, G. 2015. **Trade-offs in supply chain transparency: the case of Nudie Jeans Co**. Journal of Cleaner Production, 107, 95–104.

EUROPEAN COMMISSION. 2016. **Report on EU customs enforcement of intellectual property rights Results at the EU border**. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/5d6eb531-6b63-11e7-b2f2-01aa75ed71a1>. Acesso em: 11 set. 2022.

EVANS, P., ARÉ, L., FORTH, P., HARLÉ, N., & PORTINCASO, M. 2016. **Thinking Outside The Blocks**. Boston Consulting Group. 2017.

FASHION FOR GOOD. **Successfully Tracing Organic Cotton with Innovative Technologies**. 2019. Disponível em: https://fashionforgood.com/our_news/successfully-tracing-organic-cotton-with-innovative-technologies/. Acesso em: 12 set. 2022.

FIA BLOCKCHAIN FOR TRANSPARENCY. **Fash. Innov. Agency**. 2021. Disponível em: <https://www.fialondon.com/projects/martine-jarlgard-x-provenance-x-a-transparent-company/>. Acesso em: 07 set. 2022.

FIGORILLI, S.; ANTONUCCI, F.; COSTA, C.; PALLOTTINO, F.; RASO, L.; CASTIGLIONE, M.; PINCI, E.; DEL VECCHIO, D.; COLLE, G.; PROTO, A.R. **A Blockchain Implementation Prototype for the Electronic Open Source Traceability of Wood along the Whole Supply Chain**. *Sensors* 2018, 18, 3133.

FÓRUM ECONÔMICO MUNDIAL. 2017. (Org.), World Economic Forum (WEF), Geneva, Switzerland, 2017.

GS1BR. 2016. Disponível em: <https://www.gs1br.org/conteudo/materiais-tecnicos/MateriaisTecnicos/Guia%20GS1%20Identifica%C3%A7%C3%A3o%20Avan%C3%A7ada%20-%20Vers%C3%A3o%201.0%20-%20R01.pdf> Acesso em: 30 nov. 2022.

GUERCINI, S., RUNFOLA, A. 2007. **Traceability along the supply chain and its impact on buyer-seller relationships**: Evidence from the fashion industry, 23rd industrial marketing and purchasing group. 30th August-1st September: Manchester Business School.

GUPTA, M. 2018. **Blockchain for dummies** - IBM (2nd ed.). John Wiley & Sons Inc.

H&M GROUP. **Supply Chain-H&M Group**. 2021. Disponível em: <https://hmgrou.com/wp-content/uploads/2022/03/HM-Group-Sustainability-Disclosure-2021.pdf>. Acesso em: 08 set. 2022.

HACKLING, C. **Blockchain: Unlocking the Value Chain for Better Traceability**. 2019. Disponível em: <https://globalfashionagenda.com/blockchain-unlocking-the-value-chain-for-better-traceability-2/#>. Acesso em: 08 set. 2022.

KORPELA K., HALLIKAS J., DAHLBERG T. 2017. **Digital supply chain transformation toward blockchain integration** In: Proc. Hawaii Int. Conf. Syst. Sci., Jan. 2017, pgs. 4182–4191.

HENNINGER, C. E. 2015. **Traceability: the new eco-label in the slow-fashion industry? —consumer perceptions and micro-organizations responses**. 6011–6032.

IHODL. 2017. Disponível em: <https://ihodl.com/>. Acesso em: 21 ago. 2022.

INDITEX. **Our Suppliers-Inditex.Com**. Disponível em: <https://www.inditex.com/en/our-commitment-to-people/our-suppliers>. Acesso em: 08 set. 2022.

ISO 9001. **Checklist Identification and Traceability. ISO 9001**. 2022. Disponível em: <https://www.iso-9001-checklist.co.uk/tutorial/7.5.3-identification-and-traceability.htm>. Acesso em: 19 out. 2022.

JACOBS, M. 1995. **Sustainable development—from broad rhetoric to local reality.** In: Conference Proceedings from Agenda 21 in Cheshire, 1 December 1994, Cheshire County Council, Document No. 493.

KANG, J., LIU, C., KIM, S.-H. 2013. **Environmentally sustainable textile and apparel consumption.** *International Journal of Consumer Studies*, 37: 442–452. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ijcs.12013>. Acesso em: 19 ago. 2022.

KARLSEN, K.M.; DREYER, B.; OLSEN, P.; ELVEVOLL, E.O. 2012. **Granularity and Its Role in Implementation of Seafood Traceability.** *J. Food Eng.* 112, 78–85.

KO, V., VERITY, A. 2016. **Blockchain for the Humanitarian Sector: Future Opportunities.** Disponível em: https://www.academia.edu/30287787/Blockchain_For_The_Humanitarian_Sector_Future_Opportunities. Acesso em: 07 set. 2022.

KOZLOWSKI, A., BARDECKI, M., SEARCY, C. 2012. **Environmental impacts in the fashion industry: a life-cycle and stakeholder framework.** *The Journal of Corporate Citizenship*, 45, 17.

KUMAR, V., EKWALL, D. 2016. **Macro-Scale Indicators Based Analysis of Textile Product Recalls in the EU.** In: Nofoma 2016, Turku, Finland. Presented at the NOFOMA
Kumar, V., Koehl, L., & Zeng, X. (2017). A fully yarn integrated tag for tracking the international textile supply chain. *Journal of Manufacturing Systems*, 40, 76–86.

KUTAY, N., & TEKTÜDEKCI, F. 2016. **A new era for sustainable development: a comparison for sustainability indices.** *Journal of Accounting, Finance and Auditing Studies*, 2(2), 70–95.

KSHETRI I., 2018 N. **1 Blockchain's Roles in Meeting Key Supply Chain Management Objectives.** *Int. J. Inf. Manag.*, 39, 80–89.

LASHKARI, B. **A Comprehensive Review of Blockchain Consensus Mechanisms.** 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350031088_A_Comprehensive_Review_of_Blockchain_Consensus_Mechanisms. Acesso em: 22 set. 2022.

LENZING. **Lenzing Creates Unprecedented Level of Traceability.** 2020. Disponível em: <https://www.lenzing.com/newsroom/press-releases/press-release/lenzing-creates-unprecedented-level-of-traceability>. Acesso em: 19 out. 2022.

LENZING. **Lenzing Introduces Blockchain-Enabled Traceability Platform.** Disponível em: <https://www.lenzing.com/newsroom/press-releases/press-release/new-level-of-transparency-in-the-textile-industry-lenzing-introduces-blockchain-enabledtraceability-platform>. Acesso em: 19 out. 2022.

LI, G., LI, L., CHOI, T.M., SETHI, S.P., 2019. **Green supply chain management in Chinese firms: Innovative measures and the moderating role of quick response technology.** *J. Oper. Manage.* Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joom.1061>. Acesso em: 10 ago. 2022.

LIU, L., LI, F., QI, E., 2019. **Research on risk avoidance and coordination of supply chain subject based on blockchain technology.** Sustainability 11 (7), 2182.

LVMH. **Luxury Blockchain.** 2021. Disponível em: <https://www.lvmh.com/news-documents/news/lvmh-partners-with-other-major-luxury-companies-on-aura-the-first-global-luxury-blockchain/>. Acesso em: 20 out. 2022.

LVMH. **LVMH Partners with Other Major Luxury Companies on Aura, the First Global Luxury Blockchain.** 2021. Disponível em: <https://www.lvmh.com/news-documents/news/lvmh-partners-with-other-major-luxury-companies-on-aura-the-first-global-luxury-blockchain/>. Acesso em: 08 de set. 2022.

MARQUES A.; **Esfera Pública, redes e jornalismo.** Rio de Janeiro: E-papers, 2009. p. 193.

MURRAY, L.; ALSTRÖM, F.; ENGDAR, F. 2020. **Blockchain in Forest Products** | Accenture. Disponível em: <https://www.accenture.com/us-en/blogs/chemicals-and-natural-resources-blog/blockchain-in-forest-products-improving-wood-certification-processes>. Acesso em: 08 ago. 2022.

MUTHU, S. S. 2017. **Evaluation of sustainability in textile industry.** In: MUTHU S. S., Sustainability in the textile industry (pp. 9–15). Singapore: Springer. Disponível em https://doi.org/10.1007/978-981-10-2639-3_2. Acesso em: 08 ago. 2022.

NIMBALKER, G., MAWSON, J., CREMEN, C. 2015. **The truth behind the barcode:** Australian fashion report. Baptist World Aid Australia. Disponível em: <http://www.abc.net.au/cm/lb/6398294/data/fashion-report-data.pdf>. Acesso em: 29 out. 2022

OECD/EUIPO. 2019. **Trends in trade in counterfeit and pirated goods, illicit trade.** OECD Publishing, Paris/European Union Intellectual Property Office. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/g2g9f533-en>. Acesso em: 02 ago. 2022.

ONU, 2022. **Agenda 2030.** Assembléia Geral da ONU.

PAL, K.; YASAR, A. 2020. **Internet of Things and Blockchain Technology in Apparel Manufacturing Supply Chain Data Management.** *Procedia Comput. Sci.* 2020, 170, 450–457. 24.

PENG, G.C.A.; GALA, C. 2014. **Cloud ERP: A New Dilemma to Modern Organisations?** *J. Comput. Inf. Syst.* 2014, 54, 22–30.

PHELAN, H. 2011. **Victoria's secret caught in child labor scandal.** In CNN. Disponível em: <https://edition.cnn.com/2011/12/15/world/africa/victorias-secret-child-labor/index.html>. Acesso em: 02 out. 2022.

PROVENANCE. 2015. **Blockchain: the solution for transparency in product supply chains.** Disponível em: <https://www.provenance.org/whitepaper>. Acesso em: 07 set. 2022.

- QUEIROZ, M. M., FOSSO WAMBA, S., 2019. **Blockchain adoption challenges in supply chain: an empirical investigation of the main drivers in India and the USA**. *Int. J. Inf. Manage.* 46, 70–82.
- REJEB, A., KEOGH, J.G., TREIBLMAIER, H., 2019. **Leveraging the internet of things and blockchain technology in supply chain management**. *Future Internet* 11 (7), 161.
- RETRACED. 2021. **Blockchain start-up Retraced: “We aim to prove transparency pays off”**. Disponível em: <https://fashionunited.com/news/business/blockchain-start-up-retraced-we-aim-to-prove-transparency-pays-off/2021040939351>. Acesso em: 15 set. 2022.
- RIVEST, R. L., SHAMIR, A., ADLEMAN, L. 1978. **A Method For Obtaining Digital Signatures And Public-Key Cryptosystems**. *Communications of the ACM*, 21(2), 120–126. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/359340.359342>. Acesso em: 19 ago. 2022.
- STRÄHLE, J., WILL, C., FREISE, M. 2015. **Communication of sustainability at European fashion online shops**. *International Journal of Economics, Commerce and Management*, 3(7), 71–86.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE VAREJO E CONSUMO. 2022. Disponível em: <https://sbvc.com.br/>. Acesso em 31 nov. 2022.
- SUPPLIER NEXT. 2021. **Next Committed to ethical trading**. Disponível em: <https://supplier.next.co.uk/>. Acesso em: 07 out. 2022.
- SUSTAINABLE APPAREL COALITION. 2020. **SAC—Sustainable Apparel Coalition** Disponível em: <https://apparelcoalition.org/the-sac/>. Acesso em: 07 set. 2022.
- SWAN, M. 2015. **Blockchain: Blueprint for a New Economy**, 1st Ed., Sebastopol 2014.
- TAPSCOTT, D., TAPSCOTT, A., World Economic Forum. 2017. **Realizing the Potential of Blockchain A Multistakeholder Approach to the Stewardship of Blockchain and Cryptocurrencies**. Whitepaper. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Realizing_Potential_Blockchain.pdf. Acesso em: 03 out. 2022.
- TEXTILEGENESIS. 2022. **Textile Genesis Whitepaper**. Disponível em: <https://textilegenesis.com/>. Acesso em: 30 out 2022.
- THOMASSEY, S. 2010. **Sales forecasts in clothing industry: The key success factor of the supply chain management**. *International Journal of Production Economics*, 128(2), 470–483. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.07.018>. Acesso em: 23 ago. 2022.
- VERGARA, S. C. 2007. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 5. ed., São Paulo: Atlas, 2007.
- WEGHOFER, S., MERTL, M., YAO, X., STRAMBU, S. 2020. **UNIDO OPEN DATA PLATFORM: Enhancing the sustainability, inclusiveness and value addition of the cotton value chain in Egypt**. Disponível em: <https://open.unido.org/projects/EG/projects/160068>. Acesso em: 17 ago. 2022.

YASAR, A., PAL, K., 2020. **Internet of things and blockchain technology in apparel manufacturing supply chain data management**. *Procedia Computer Science*, 170, 450–457. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.088>. Acesso em: 06 set. 2022.