

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE COMUNICAÇÕES E ARTES
DEPARTAMENTO DE RELAÇÕES PÚBLICAS, PROPAGANDA E TURISMO

MARIANA ARAUJO RODRIGUES CHAPOUTO LOPES

**O POTENCIAL DA ARQUITETURA *BLOCKCHAIN*
PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS**

SÃO PAULO
2023

MARIANA ARAUJO RODRIGUES CHAPOUTO LOPES

**O POTENCIAL DA ARQUITETURA *BLOCKCHAIN*
PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Relações Públicas, Propaganda e Turismo da Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Bacharel em Relações Públicas.

Orientador: Prof. Dr. Massimo di Felice

SÃO PAULO

2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo
Dados inseridos pelo(a) autor(a)

Lopes, Mariana Araujo Rodrigues Chapouto
O potencial da arquitetura blockchain para a gestão de resíduos / Mariana Araujo Rodrigues Chapouto Lopes;
orientador, Massimo Di Felice. - São Paulo, 2023.
157 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Departamento de Comunicações e Artes / Escola de Comunicações e Artes / Universidade de São Paulo.
Bibliografia

1. Blockchain. 2. Gestão de Resíduos. 3. Meio Ambiente. 4. Resíduos. 5. Tecnologia. I. Di Felice, Massimo . II. Título.

CDD 21.ed. -
659.2

Elaborado por Alessandra Vieira Canholi Maldonado - CRB-8/6194

LOPES, Mariana A. R. C. **O potencial da arquitetura blockchain para a gestão de resíduos.** 157p. Monografia (Bacharelado em Relações Públicas) - Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Data de aprovação: ____ / ____ / ____

Local: Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo (ECA-USP)

Membros componentes da banca examinadora:

Nome: _____

Instituição: _____

Nome: _____

Instituição: _____

Nome: _____

Instituição: _____

AGRADECIMENTO

Agradeço à minha família pelo apoio, pela confiança e por encherem os meus dias de amor e tranquilidade. Obrigada por tanto carinho e por me mostrarem os reais valores da vida. Agradeço ao Amor da vida, que me ensina tanto, me acompanha em tudo e que me mostra todos os dias o que é ter comprometimento.

Agradeço às minhas amigas Jaine, Jaqueline, Letícia e Larissa, que percorreram essa jornada comigo de sempre buscar ir além e, ao mesmo tempo, tornaram o caminho mais leve.

Agradeço ao Matheus Soares que, desde 2019, teve a paciência de realizar inúmeras reuniões comigo para discutirmos as diversas possibilidades que poderiam ser exploradas neste trabalho.

Agradeço ao Antonio França, pela sua disposição em participar da entrevista que apoiou as minhas reflexões acerca do tema deste trabalho.

Agradeço ao meu Orientador, Professor Massimo, que desde o primeiro momento acreditou na minha paixão pelo tema. Obrigada por ter me mostrado como o processo de pesquisar é, na verdade, um processo de autodescoberta e que, muitas vezes, a jornada é mais importante do que o destino.

Agradeço também a todas as Professoras e todos os Professores que fizeram parte do meu crescimento e desenvolvimento pessoal, acadêmico e profissional, em especial a Professora Margarida Krohling Kunsch que me introduziu e me deu a oportunidade de me aprofundar nos estudos relacionados à sustentabilidade.

Agradeço às demais pessoas que não foram acima citadas, mas que de alguma forma fizeram parte da minha vida nos últimos anos.

Agradeço à Universidade de São Paulo e à Escola de Comunicações e Artes pelas inúmeras oportunidades, dentre elas a possibilidade de participar de aulas de outros cursos e descobrir mundos e perspectivas totalmente diferentes.

E, por fim, agradeço a Deus, por tudo.

RESUMO

LOPES, Mariana A. R. C. **O potencial da arquitetura *blockchain* para a gestão de resíduos.** 157p. Monografia. Bacharelado em Relações Públicas. Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

A ineficiência das políticas públicas e dos processos industriais e empresariais para a gestão de resíduos reflete a complexidade e dificuldade dos setores em lidarem não somente com a destinação, mas também com a coleta e tratamento dos resíduos. Hoje, devido à escassez de dados confiáveis e factíveis sobre o tema, há falta de clareza em relação à geração de resíduos e outras variáveis relacionadas, o que impacta e prejudica as tomadas de decisões privadas e públicas. Nesse cenário, é essencial que tecnologias auxiliem na geração, gestão e monitoramento dos dados, e busquem resolver o desafio de gerar números confiáveis em um mercado historicamente marcado pela falta de transparência e rastreabilidade. A aplicação da arquitetura *blockchain* para a gestão de resíduos sólidos surge como uma alternativa para essa problemática. Por meio de uma pesquisa de caráter descritivo exploratório, o presente trabalho tem como objetivo apontar os benefícios e desafios da aplicação da arquitetura *blockchain* para a gestão de resíduos e apresentar plataformas que a implementaram em suas soluções, com o objetivo de evidenciar e compreender a dinâmica desse ecossistema complexo que se forma entre humanos e não humanos. A pesquisa tem como ponto de partida uma análise teórica da relação entre os seres humanos e a biosfera, da nova cultura ecológica e condição habitativa digital e transorgânica da constituição de um novo tipo de social que se encontra em uma nova arquitetura conectiva e organizativa que comprehende não apenas humanos, mas também as coisas, os ecossistemas e as tecnologias. Em conclusão, foi possível identificar que, apesar de existirem inúmeras barreiras que devem ser enfrentadas para a implementação da arquitetura *blockchain*, como o engajamento de entes tanto privados quanto públicos, o potencial da *blockchain* é transformativo no que tange aos desafios de governança inerentes ao setor de gestão de resíduos, como irregularidades legais, falta de rastreabilidade e confiabilidade na geração de dados.

Palavras-chave: *Blockchain*; Gestão de Resíduos; Meio Ambiente; Resíduos; Tecnologia.

ABSTRACT

LOPES, Mariana A. R. C. **The potential of blockchain architecture for waste management.** 157p. Monograph. Bachelor of Public Relations. School of Communications and Arts, University of São Paulo, São Paulo, 2023.

The inefficiency of public policies and industrial and business processes for waste management reflects the complexity and difficulty of the sectors in dealing not only with waste disposal, but also with waste collection and treatment. Today, due to the scarcity of reliable and feasible data on the subject, there is a lack of clarity regarding waste generation and other related variables, which impacts and impairs private and public decision making. In this scenario, it is essential that technologies assist in the generation, management, and monitoring of data, and seek to solve the challenge of generating reliable data in a market historically marked by a lack of transparency and traceability. The application of blockchain architecture to solid waste management emerges as an alternative to this problem. Through a descriptive exploratory research, this paper aims to point out the benefits and challenges of applying blockchain architecture to waste management and to present platforms that have implemented it in their solutions, in order to highlight and understand the dynamics of this complex ecosystem that is formed by humans and non-humans. The research takes as its starting point a theoretical analysis of the relationship between humans and the biosphere, of the new ecological culture and digital and transorganic dwelling condition of the constitution of a new type of social that is found in a new connective and organizational architecture that comprises not only humans, but also things, the ecosystems and technologies. In conclusion, it was possible to identify that, although there are numerous barriers faced in implementing blockchain architecture, such as the engagement of both private and public entities, the potential of blockchain is transformative regarding the governance challenges inherent in the waste management sector, such as legal irregularities, lack of traceability and reliability in data generation.

Keywords: Blockchain; Environment; Technology; Waste; Waste Management.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS)	21
FIGURA 2 - Modelo Econômico Linear	63
FIGURA 3 - Modelo Econômico Circular	66
FIGURA 4 - Diagrama de Borboleta	67
FIGURA 5 - Ciclos biológico e técnico baseados na ideia <i>cradle-to-cradle</i> (C2C)	68
FIGURA 6 - Níveis de mudança de papéis de atores na gestão de resíduos sólidos urbanos e a arquitetura <i>blockchain</i>	99
FIGURA 7 - <i>Big Data</i> e o ecossistema IoT	100
FIGURA 8 - A plataforma da Circularise permite a rastreabilidade das matérias-primas e componentes de produtos	110
FIGURA 9 - Além de evidenciar a cadeia de fornecedores, a plataforma da Circularise permite a rastreabilidade de certificações, a avaliação de ciclo de vida e a gestão de outros dados e informações relacionadas ao produto	110
FIGURA 10 - A Circularise permite a visualização de "Passaportes Digitais de Produtos", por meio dos quais é possível rastrear as ações da cadeia de fornecimento e realizar a conexão com entes da cadeia para o esclarecimento de questões relacionadas à composição de produtos e outros aspectos via a tecnologia <i>Smart Questioning</i>	111
FIGURA 11 - Exemplo de um "Passaporte Digital de Produto" da Empower, que disponibiliza dados relacionados ao impacto social relacionado à coleta de resíduos plásticos utilizados para a produção da cadeira, as certificações, a origem do plástico e outros dados referentes à operação	114
FIGURA 12 - O marketplace da Empower conecta os entes envolvidos na cadeia de reciclagem de resíduos plásticos de forma global	115
FIGURA 13 - Tela do <i>marketplace</i> da Empower, também acessível via aplicativo	115
FIGURA 14 - Telas da interface DApp da KleanLoop	118

FIGURA 15 - Telas da interface DApp da KleanLoop	118
FIGURA 16 - Telas da interface da RecycleGO relacionada à rota do caminhão	122
FIGURA 17 - Telas da interface da RecycleGO relacionada à rota do caminhão	123
FIGURA 18 - Interface do aplicativo da re-universe que permite o usuário de visualizar os seus créditos decorrentes do descarte correto de copos reutilizáveis	124
FIGURA 19 - O usuário deve escanear os QR codes (1) do ponto de coleta antes (2) do QR code do seu copo reutilizável e/ou resíduo	124
FIGURA 20 - Projeto realizado com a empresa de água <i>Evian</i>	125
FIGURA 21 - Interface no aplicativo relacionada ao projeto realizado com a empresa de água Evian, no Championships Wimbledon 2022	125
FIGURA 22 - Interface no aplicativo relacionado ao projeto piloto realizado no <i>Blenheim Palace</i>	126
FIGURA 23 - Usuário escaneia o <i>QR code</i> do copo retornável relacionado ao projeto piloto no <i>Blenheim Palace</i>	126
FIGURA 24 - Interface no aplicativo relacionado ao projeto piloto realizado no <i>Blenheim Palace</i> com métricas relacionadas à ação do usuário referente às emissões de GEE que deixaram de ser emitidas e a quantidade de copos que deixaram de ir para aterros	127
FIGURA 25 - Projeto piloto com o <i>Irish Waste Management Association</i> (IWMA)	127

LISTA DE SIGLAS

ANT - *Actor-network theory*

C2C - *Cradle-to-Cradle*

DApp - *Decentralized Application*

DLT - *Distributed Ledger Technology*

EoL - *End-of-Life*

IoE - *Internet of Everything*

IoT - *Internet of Things*

MTR - Manifesto de Transporte de Resíduos

NbS - *Nature-based Solutions*

RFID - *Radio Frequency Identification*

PoS - *Proof-of-Stake*

PoW - *Proof-of-Work*

P2P - *Peer-to-Peer*

SDG - *Sustainable Development Goals*

TAR - Teoria ator-rede

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Mapeamento de <i>startups</i> , projetos e iniciativas em arquitetura <i>blockchain</i> para a gestão de resíduos no continente europeu	129
TABELA 2 - Mapeamento de <i>startups</i> , projetos e iniciativas em arquitetura <i>blockchain</i> para a gestão de resíduos na América do Norte	131
TABELA 3 - Mapeamento de <i>startups</i> , projetos e iniciativas em arquitetura <i>blockchain</i> para a gestão de resíduos na América do Sul	132
TABELA 4 - Mapeamento de <i>startups</i> , projetos e iniciativas em arquitetura <i>blockchain</i> para a gestão de resíduos no Oriente Médio	132

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Objetivo geral	21
1.2. Objetivos específicos	21
1.3. Metodologia	22
2. DEPOIS DA NATUREZA	23
2.1. A crise ambiental	23
2.2. O Antropoceno e o Capitaloceno	28
2.3. A teoria de Gaia	32
2.4. A Teoria Ator-Rede (TAR)	34
3. A NOVA ECOLOGIA DO SOCIAL	43
3.1. Os não humanos e a sociologia digital	43
3.2. A evolução da Internet	47
3.3. IoT e o protagonismo digital dos não humanos	48
3.4. As redes digitais e a sustentabilidade	50
3.5. As redes blockchain	53
4. GESTÃO DE RESÍDUOS E A ARQUITETURA BLOCKCHAIN	59
4.1. A economia circular	63
4.2. A Economia Ecológica e a geração de resíduos	73
4.3. A gestão de resíduos no Brasil	78
4.4. Partes envolvidas na gestão de resíduos	84
4.5. Gestão de resíduos e a arquitetura blockchain	85
4.6. Conexão informativa	98
5. PLATAFORMAS EM ARQUITETURA BLOCKCHAIN PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS	106
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	134
REFERÊNCIAS	137
APÊNDICE A - Roteiro de entrevista do Estudo Qualitativo com algum(a) representante da Academia	142
APÊNDICE B - Entrevista (gravada) com Antonio de Sant'Anna Limongi França	144
APÊNDICE C - Entrevista (escrita) com Antonio de Sant'Anna Limongi França	154

Quando, por vezes, me falam em imaginar outro mundo possível, é no sentido de reordenamento das relações e dos espaços, de novos entendimentos sobre como podemos nos relacionar com aquilo que se admite ser a natureza, como se a gente não fosse natureza.

Ailton Krenak, em *Ideias para Adiar o Fim do Mundo* (2019)

No final do **dia** de hoje, você terá gerado, aproximadamente, 1,043 quilos de resíduos. Em 1 (uma) **semana**, 7,301 quilos. Em 1 (um) **mês**, 29,204 quilos. E, em 1 (um) **ano**, você terá gerado 350 quilos. Durante o ano de 2022, o Brasil gerou em torno de 81,8 milhões de toneladas (Abrelpe, 2022). Para onde estão indo as 224 mil toneladas de resíduos geradas diariamente no Brasil?

1. INTRODUÇÃO

"[...] E compreender que, em vez de sermos os donos do mundo, somos parte dele"¹.

Nos comunicamos de diversas formas em nossas vidas. Por meio de olhares, comportamentos, palavras... e, apesar das palavras estarem presentes em nosso dia a dia durante todo o tempo, na minha percepção, refletimos pouco sobre suas construções e o quanto elas podem carregar consigo.

Para ilustração desse pensamento, a ideia de afastamento entre o meio ambiente e os seres humanos em nossa percepção do mundo é refletida na própria palavra *ambiente*, em latim "ambiens", do verbo "ambire", que significa tudo "que rodeia determinado ponto ou ser" (CAVASSAN; RIBEIRO, 2012). Essa ideia antropocêntrica fortalece a concepção de mundo em que o meio ambiente é encarado como algo externo e marginal à existência humana, interpretada e sentida como duas realidades distintas e desconectadas, entre o ser humano e o "inanimado".

O planeta terra se formou há 4,5 bilhões de anos, segundo previsões científicas (Jornal da USP, 2020). Estima-se que os neandertais passaram a surgir e a se deslocar pela Europa e Ásia há 400 mil anos, enquanto o *Homo sapiens* apareceu na África há, aproximadamente, 300 mil a 200 mil anos (BBC, 2019). Portanto, o planeta terra tem sido habitado pelo *Homo sapiens* por apenas 0,00007% do tempo desde a sua formação. Ainda assim, o ser humano moderno ainda se considera como detentor dos recursos naturais do planeta, os quais já foram capazes de extrair do meio ambiente 70% (setenta por cento) a mais do que os ecossistemas planetários conseguiriam regenerar durante o período de um ano (Global Footprint Network, 2023).

A extração de recursos naturais é um processo inerente às operações produtivas das indústrias de quase todos os setores econômicos, como o automobilístico, metalúrgico, alimentício, têxtil, petroquímico, de equipamentos eletrônicos, entre muitos outros. Como

¹ Trecho adaptado de uma entrevista realizada com Gerrard Albert por meio do canal 39, da Nova Zelândia (DI FELICE, 2020, p. 124).

consequência de um modo de viver e enxergar a vida por meio da supervalorização do consumo, as indústrias visam atender e estimular o interesse da sociedade em consumir - não apenas os itens básicos, mas principalmente produtos supérfluos. Como resultado desse estímulo ao consumo não consciente, há a geração desenfreada de resíduos e, em paralelo, a existente falta de controle das cadeias de fornecedores e da própria gestão dos resíduos. Estima-se que a geração global de resíduos já tenha alcançado 2,01 bilhões de toneladas anuais e os dados indicam que, até 2050, é esperado que o mundo atinja a geração de 3,4 bilhões de toneladas de resíduos por ano (World Bank Group, 2020).

Os resíduos são responsáveis pela emissão de 5% (cinco por cento) de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) (World Bank Group, 2020). Há mais de 15 milhões de trabalhadores informais no setor de resíduos (Medina, 2010 apud World Bank Group, 2020), inclusive crianças, que, por dependerem economicamente da atividade, são expostos aos diversos riscos de saúde em lixões. Prevê-se que o custo anual global da gestão de resíduos sólidos aumente de 205 bilhões de dólares para 375 bilhões de dólares (World Bank Group, 2012). Assim, se hoje a geração de resíduos já pode ser considerada uma crise ambiental, social e econômica global, e, por apresentar uma forte tendência em aumentar, as ações de mitigação por parte de governos, empresas e sociedade civil são urgentes. Afinal, a crise da geração de resíduos e seu agravamento já é real e comprovado.

Os impactos da sociedade do consumo ficam ainda mais evidentes na dinâmica das cidades, principalmente de países com populações menos favorecidas economicamente, tendo em vista que é nas cidades que é possível identificar a geração contínua de resíduos pós-consumo, comerciais e industriais como reflexo da estrutura econômica atual que não é acompanhado pelo desenvolvimento social necessário. É evidente, por exemplo, a poluição em assentamentos irregulares pela falta da infraestrutura de saneamento básico. Com os efeitos das crises ecológicas globais - como, por exemplo, a crise climática e a de resíduos -, os administradores das cidades têm notado cada vez mais a necessidade de desenvolver medidas, táticas, estratégias e políticas públicas de mitigação e adaptação de impactos negativos na infraestrutura, economia, na vida da população e no meio ambiente. Contudo, o processo de transformar as cidades em "sustentáveis" é a longo prazo e necessita do empenho da população, além dos governos e das empresas.

As cidades que têm objetivos como reduzir e limitar o desperdício e os impactos ambientais, prevenir a poluição, aumentar a conservação ambiental e promover serviços públicos inovadores e eficientes em áreas que fazem parte da administração da cidade, como o transporte, a gestão de resíduos, o saneamento básico, entre outros, enfrentam dificuldades sistêmicas. Contudo, com mudanças estruturais, as cidades têm o potencial de melhorar o meio ambiente e a qualidade de vida da população, ao passo que a economia também acompanha os benefícios do equilíbrio das necessidades dos sistemas humanos e dos ecossistemas.

Uma das dimensões das cidades é a gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU). Em parte dos municípios brasileiros e de outros países, a reciclagem já é um tratamento de resíduos contemplado por tecnologias avançadas e já demonstra um grande potencial de gerar capital financeiro para diversos grupos sociais. Contudo, mesmo a reciclagem, que já conta com uma estrutura mais madura em diversos países, não atingiu o seu melhor desempenho possível. Afinal, de acordo com um relatório da OCDE (2022), somente 9% dos resíduos plásticos são reciclados no mundo. A reciclagem eficiente depende fortemente do empenho de diversas camadas sociais e organizacionais, desde a produção dos produtos - nas etapas de *design*, de escolha de materiais e processos produtivos, por exemplo - até a sua destinação e tratamento corretos - geridos pelos governos e empresas.

Importante destacar que as organizações e governos dependem fortemente de dados para desenvolverem caminhos mais eficientes de produção e gestão e elaboração de políticas públicas melhor embasadas. Afinal, a gestão de resíduos é um ecossistema criado por dados e monitorado por meio deles. O acesso a dados seguros e rastreáveis possibilita a identificação e análise dos impactos da extração insustentável de recursos naturais e da geração de resíduos nos diversos âmbitos, tanto na sociedade quanto no meio ambiente. Nesse cenário, surge o conceito de cidades inteligentes (em inglês, *smart cities*), que, por meio de inovações tecnológicas e sistemas de coleta de dados, conseguem fornecer serviços públicos otimizados que visam o bem-estar socioambiental e econômico. Para a geração e armazenamento de uma grande quantidade de dados que pode ser gerada por cidades, é fundamental que as municipalidades se baseiem em tecnologias e arquiteturas apropriadas. Uma das arquiteturas que ganhou espaço nessa temática foi a *blockchain*, que oferece confiabilidade, segurança e imutabilidade dos dados. No caso dos resíduos - e também das cadeias de suprimentos -, a *blockchain* possibilita a rastreabilidade dos materiais desde a extração da matéria-prima,

durante os processos produtivos industriais até a sua destinação final. Além disso, a tecnologia *blockchain* possibilita a criação de mecanismos de incentivo de reciclagem para que a população possa fazer parte e colaborar para a concretização da economia ecológica.

No contexto das cidades inteligentes, surgem as organizações focadas em desenvolver soluções inovadoras para empresas e governos, conhecidas como *GreenTechs* e *GovTechs - startups* que acreditam nos potenciais das tecnologias para a diminuição dos impactos ambientais negativos consequentes das diversas atividades econômicas e sociais.

Nesse cenário, a presente pesquisa surge com o questionamento: como *startups* e empresas têm aplicado a arquitetura *blockchain* para desenvolver soluções para o setor de resíduos e quais têm sido os focos das aplicações? Assim, por meio de uma pesquisa exploratória, o trabalho visou analisar e entender como o mercado de *startups* - e empresas - que têm a inovação como um forte norteador, tem aderido à *blockchain* em prol da gestão de resíduos.

O desenvolvimento deste trabalho foi fruto da reflexão sobre as possíveis soluções tecnológicas que podem ter um potencial de reverter o cenário global da geração de resíduos. A escolha do tema justifica-se a partir do cenário atual do meio ambiente, acima abordado superficialmente: a crise climática, a perda de biodiversidade, a degradação dos ecossistemas que, entre outros, demonstram cada vez mais a importância de incluir as tecnologias digitais no desenvolvimento de soluções sustentáveis. Contudo, o trabalho também aborda o tema relacionado à conexão dos seres humanos e a biosfera, pois, muito mais do que desenvolver tecnologias capazes de apoiar uma transformação positiva do caminho destrutivo que tem sido percorrido, o ser humano deve repensar os seus valores, a sua forma de viver e enxergar a sua relação com a biosfera.

Dessa forma, o objetivo da presente Monografia é entender o cenário e estágio atuais relacionados à implementação da arquitetura *blockchain* para o endereçamento de desafios da gestão de resíduos, ao mesmo tempo que aborda as nuances das interações entre seres humanos, o meio ambiente e as tecnologias digitais, e apresenta as iniciativas de *startups* e empresas que utilizam a tecnologia *blockchain* para a gestão de resíduos. A fim de apoiar as análises e o entendimento acerca do tema, também foi realizada uma entrevista com um especialista da área, exposta ao final do trabalho.

O trabalho foi dividido em 4 (quatro) seções. A pesquisa tem como ponto de partida uma análise da relação entre os seres humanos e a biosfera a partir da revisão de conceitos como o Antropoceno e Capitaloceno e nova forma de compreender o planeta terra e repensar a ideia de "natureza", com o objetivo de ultrapassar a limitação da perspectiva ocidental em não compreender a biosfera para além de algo externo à sua existência. Foram abordados conceitos contemplados pelo "Contrato Natural", de Michel Serres, pela "Teoria de Gaia", de James Lovelock e pela "Teoria Ator-Rede" (TAR), de Bruno Latour. Assim, a primeira seção "Depois da natureza" apresenta uma breve introdução e base teórica sobre o cenário macro da crise ambiental e a relação existente entre seres humanos, meio ambiente e não humanos (DI FELICE; TORRES; YANAZE, 2012).

A segunda seção "A nova ecologia do social" tem como objetivo dar enfoque ao novo ecossistema que é formado como consequência do surgimento da *internet* e à importância da tecnologia para a ressignificação do papel de objetos e outros entes não humanos (DI FELICE, 2017), e apresentar a arquitetura *blockchain*. Nessa dinâmica, é importante ressaltar que há uma ênfase em uma nova cultura ecológica em que as tecnologias digitais não são mais consideradas como ferramentas e/ou instrumentos, mas parte do processo evolutivo da recuperação da biosfera, da construção das novas arquiteturas de redes e de um novo ecossistema comunicativo e organizativo. A espécie humana se transforma por meio de tecnologias digitais e essa relação que é criada entre os seres humanos, resíduos e a *blockchain* é uma expressão de uma nova ecologia em rede e transorgânica, de uma nova condição habitativa - não sujeito cêntrica -, e de uma passagem para outro tipo de espécie e civilização. O agir em rede é realizado por meio da colaboração com diversas entidades não apenas humanas, mas também com os dispositivos, algoritmos, e dados, e faz parte do processo de transsubstancialização: a transformação de toda matéria "real" em dados. O efeito dessa dinâmica é o fim da barreira *on-* e *offline*.

A terceira seção "Gestão de resíduos e a arquitetura *blockchain*" tem como objetivo contextualizar o cenário da gestão de resíduos no mundo e no Brasil, introduzir a ideia de economia ecológica - como um termo e conceito "pós economia circular" - e destacar as principais conexões entre a gestão de resíduos e a arquitetura *blockchain*. Havia diversas facetas que poderiam ter sido exploradas na contextualização da gestão de resíduos global -

como as movimentações transfronteiriças de resíduos, por exemplo -, mas para atender ao objetivo deste trabalho, foi apresentada uma visão e introdução geral do tema.

E, por fim, a quarta seção "Plataformas em arquitetura *blockchain* para a gestão de resíduos", apresenta um mapeamento das *startups* e empresas que desenvolveram soluções em arquitetura *blockchain*.

Em suma, a ideia da pesquisa foi explorar a constituição desse novo tipo de social que se encontra em uma nova arquitetura conectiva que comprehende não apenas humanos, mas também as coisas, os ecossistemas e as tecnologias: os não humanos. Assim, por meio do mapeamento das iniciativas que já implementam a arquitetura *blockchain*, o objetivo é evidenciar e compreender esse ecossistema mais complexo interconectado entre humanos, resíduos, meio ambiente e tecnologias digitais, a fim de ultrapassar a ideia de sustentabilidade que ainda se caracteriza pelo antropocentrismo.

Assim como destaca França (2020), a gestão de resíduos, tópico deste trabalho, alinha-se a diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs) da ONU, como os ODS 1 (Erradicação da Pobreza) e ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico) - devido ao potencial impacto financeiro do setor em núcleos de baixa renda, por exemplo -, assim como em outros ODS relacionados à saúde (ODS 3), às cidades (ODS 11), à indústria (ODS 9), e ao consumo e produção (ODS 12) - uma vez que algumas de suas metas estão associadas às reflexões expostas, como as metas 12.2, 12.4 e 12.5, que visam a gestão sustentável e a utilização eficiente dos recursos naturais; a gestão ambientalmente correta de produtos químicos e de todos os resíduos ao longo do seu ciclo de vida - a fim de reduzir a poluição do ar, da água e do solo e minimizar os seus impactos adversos na saúde humana e no ambiente; e redução substancial da produção de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reutilização. As diversas conexões que podem ser realizadas entre a gestão de resíduos eficaz, eficiente e efetiva com diversos ODS - não se limitando aos apresentados acima - demonstram a capilaridade e importância interconectiva do setor para com a sociedade e suas diversas estruturas econômicas, sociais e ambientais.

FIGURA 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS)



Fonte: Estratégia ODS.

1.1. Objetivo geral

O objetivo geral da pesquisa foi analisar o atual e potencial impacto da arquitetura *blockchain* na gestão e governança de resíduos.

1.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

1. Discutir a crise sociológica do social decorrente da transformação da relação entre o ser humano e a biosfera;
2. Esclarecer o que é a arquitetura *blockchain*;
3. Identificar o papel da *blockchain* no contexto das redes digitais e da evolução da rede;
4. Analisar os potenciais, benefícios e desafios da implementação da arquitetura *blockchain* para a gestão de resíduos;
5. Investigar como a *blockchain* tem sido aplicada nas soluções para a gestão de resíduos por meio de um mapeamento de casos.

1.3. Metodologia

Foi realizada uma revisão bibliográfica, um mapeamento de casos e uma entrevista exploratória e focalizada com 1 (um) especialista no tema. Além de apoiar a elaboração e verificação do conteúdo relacionado à análise dos impactos da arquitetura *blockchain* na gestão de resíduos, a partir da entrevista, foi possível esclarecer as reflexões decorrentes dos *cases* mapeados e desenvolver novas perspectivas referentes a questões e desafios específicos relacionados à temática.

Os artigos relacionados ao tema foram mapeados por meio da plataforma *Connected Papers* a partir da busca de publicações conectadas ao artigo de França (2020): *Proposing the use of blockchain to improve the solid waste management in small municipalities*. O mapeamento das *startups* foi realizado por meio da tecnologia de mecanismo de busca do *Google* a partir da pesquisa das palavras-chave (1) *blockchain*, (2) gestão de resíduos (*waste management*, em inglês) e (3) *startup*, além da checagem de listagens publicadas em artigos científicos e matérias *online* relacionadas ao tema.

2. DEPOIS DA NATUREZA

Temos que nos acostumar, entramos irreversivelmente em uma época ao mesmo tempo pós-natural, pós-humana e pós-sistêmatica! Isso é muito “pós”? Sim, mas é porque tudo mudou ao nosso redor. Já não somos exatamente humanos modernos à moda antiga; não vivemos mais na época do Holoceno! (LATOUR, 2020).

Para refletir sobre a relação entre o ser humano, a biosfera e as tecnologias digitais, foi desenvolvida uma introdução teórica e conceitual dividida em quatro partes. A primeira parte contempla uma contextualização macro da crise ecológica global com a apresentação do cenário atual, que teve como objetivo servir como base de uma discussão seguinte contemplada pela segunda parte, na qual foram explorados os conceitos "Antropoceno" e "Capitaloceno" como uma tentativa de responder o seguinte questionamento: "Como chegamos a esse ponto?". Essa pergunta prepara o(a) leitor(a) para, em uma terceira parte, a apresentação da teoria de Gaia a fim de retomar o foco para o meio ambiente ao conectar o desequilíbrio ambiental como resultado do "Capitaloceno". E, para finalizar, na quarta parte, é discorrido sobre os questionamentos "Onde estamos?" e "Para onde iremos?" a partir da teoria Ator-Rede, a fim de destacar a importância de nos conectarmos e pensarmos nas consequências das interrelações das ações dos humanos e não humanos para com a biosfera.

A seguinte introdução tem como objetivo sustentar a discussão posterior, na qual será analisada uma das crises ambientais mais críticas vividas atualmente: a geração de resíduos. Não somente será discutida a geração dos resíduos em si, mas, principalmente, como uma das arquiteturas digitais existentes hoje tem servido e servirá como catalisadora das mudanças e adaptações que têm e terão que ocorrer nesse setor.

2.1. A crise ambiental

Vivemos em um período em que convivemos com a destruição da biosfera diariamente por meio de diversas formas. Esse fato não é uma exclusividade do nosso século e nem do nosso milênio. O ser humano sempre esteve em contato com a biosfera, usufruindo-se dela

para se alimentar, se abrigar e desenvolver suas ferramentas e sustentar os seus modos de viver e interagir socialmente, economicamente e culturalmente. Contudo, ao longo dos últimos séculos, é notável que esse usufruto do homem se exacerbou de forma desequilibrada. Antes, a caça, as plantações, construções e estruturas impactavam o meio ambiente, mas nenhum tipo de ação e período foi capaz de causar um desequilíbrio ambiental planetário.

Nos dias de hoje, o cenário já é outro. O desequilíbrio ambiental que vivemos é fruto do modo de viver construído pelo ser humano nos últimos séculos - nessa constatação, consideramos aqui o ser humano majoritariamente capitalista com valores pautados no consumismo, desenvolvimento desenfreado e ganância pelo lucro, às custas do meio ambiente, das desigualdades e do empobrecimento populacional. Também não há como desconsiderar nessa primeira análise o alto impacto do crescimento populacional e das guerras, fenômeno e acontecimentos que estimularam e estimulam - no caso do engrandecimento da quantidade da população - o desenvolvimento tecnológico e de mercado, um maior consumo e, com isso, uma maior necessidade de extrair matérias-primas para a materialização de novas tecnologias - que necessitam de metais pesados, fruto da mineração - e produtos - que são desenvolvidos desenfreadamente, em sua maioria, sem análise do seu ciclo de vida e o seu real impacto no meio ambiente.

Para ilustrar esse cenário, gostaria de destacar que, entre 2009 e 2015, um grupo de cientistas criou uma lista dos "nove limites" do planeta terra. É e não é inacreditável que, hoje, 4 (quatro) limites já foram ultrapassados. Esse resultado representa o modo em que vivemos e temos habitado o Planeta Terra. Tudo o que consumimos e realizamos gera algum impacto na biosfera - alguns produtos e ações menos e outros mais. Por exemplo, certas peças de roupas, que podem ser consideradas como parte da famosa *fast fashion*², por exemplo, dependem de um grande volume de água - aliás, estima-se que a indústria de moda utiliza-se anualmente de 93 bilhões de metros cúbicos de água, quantidade suficiente para atender a 5 milhões de pessoas (UNCTAD, 2019). Outro tipo de produto que causa impactos imensuráveis são os eletrodomésticos e eletrônicos que utilizam metais pesados que, em uma etapa inicial, dependem de atividades da mineração para serem extraídos, uma frente que já se demonstrou prejudicial devido à contaminação de regiões ribeirinhas e terras indígenas e, no pós-consumo, devem ser descartados da maneira correta, senão podem acarretar em poluição

² O termo *fast fashion* - oposto ao conceito de *slow fashion* - existente há algumas décadas, se refere a um modelo de produção e consumo insustentável de peças de roupas menos resistentes seguido por algumas organizações da indústria têxtil, que incentiva o trabalho análogo à escravidão, maior consumo de água e emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

dos lençóis freáticos, por exemplo.³ São inúmeros outros exemplos de fatores e variáveis que nos deparamos no dia a dia que podem ser citados, como a própria produção de alimentos. A agricultura é uma atividade que consome grandes quantidades de água para ser realizada e há algumas décadas que o uso de agrotóxicos, nocivos para a saúde ambiental e humana, tem se fortalecido.

Em 1962, a bióloga norte-americana Rachel Carson lança o seu livro "Primavera Silenciosa". A obra tornou-se um importante marco para o movimento ambientalista e para os avanços nas discussões relacionadas ao meio ambiente. Em seu livro, Rachel "busca denunciar os impactos provenientes da utilização indiscriminada de inseticidas, em especial o DDT (Diclorodifeniltricloroetano), nos Estados Unidos" (SOUZA, 2021). Após 6 (seis) décadas, parece que nada mudou. Em 2019, o governo brasileiro obteve o maior número de agrotóxicos registrados historicamente, desde 2005, pelo Ministério da Agricultura - foram 474 novos agrotóxicos liberados pela ANVISA. Um dos princípios ativos liberados, está conectado à redução de enxames de abelhas (G1, 2019), o que demonstra que o uso dessas substâncias, além de impactar a saúde humana, pode causar grandes impactos ambientais, inclusive na agricultura, pois enfraquece a possibilidade de ocorrência de serviços ecossistêmicos.

Na corrida pelo lucro e maior produtividade, é possível apontar organizações que tentam seguir por um outro caminho a fim de mitigar os seus impactos, porém, infelizmente, a maioria ainda continua com os seus processos produtivos destrutivos e irresponsáveis, focada somente na divulgação de indicadores que não refletem a realidade do seu impacto. Assim, faz sentido culpabilizar as empresas por não se esforçarem o suficiente para realizarem mudanças em seus modos de produção. Ou, até, poderíamos dizer que a sociedade também é culpada por não exercer influência o bastante ao aceitar e negligenciar as ações empresariais - ao não considerar aspectos socioambientais nas escolhas de consumo e uso de produtos e serviços. De fato, a pressão da sociedade para uma mudança de comportamento se mostra cada vez mais presente e notável, mas insuficiente para causar transformações estruturais e sistêmicas em uma velocidade que possibilitaria a restauração ambiental. Nesse sentido, a culpa pela crise ambiental também poderia ser direcionada para os governos, que deveriam

³ O descarte incorreto de eletrodomésticos e eletroeletrônicos também pode acarretar em problemas de saúde de catadores que podem entrar em contato com metais pesados descartados incorretamente em conjunto com outros resíduos.

ser mais rígidos em suas legislações e ações fiscalizatórias, mas ainda seguem processos ineficientes e burocracias limitantes. Contudo, o cenário é ainda mais complexo.

Em uma máquina marcada por diferentes limitações políticas, os governos enfrentam diversos desafios, como escassez de recursos e pressões setoriais. As empresas contam com pessoas engajadas nas mudanças para modos de produção mais sustentáveis, mas são limitadas pelos direcionamentos *top-down*⁴ e financiamento limitado para ações de sustentabilidade - que normalmente são encaradas como gastos. E a sociedade muitas vezes não tem acesso a dados e informações verídicas sobre os processos produtivos e enfrentam dificuldades financeiras que limitam o consumo de produtos "sustentáveis" - normalmente mais caros do que os convencionais.

O desafio é entender que quaisquer ações que forem tomadas terão impactos sistêmicos, impossíveis de serem completamente mensurados. Movimentos sociais podem impactar uma mudança nas organizações. Um avanço de uma empresa em alguma frente pode causar mudanças setoriais. Uma política mais rígida pode gerar mudanças estruturais em um setor. Nesse cenário, os desafios são muitos e variados e, além de complexos e difíceis de serem resolvidos, é essencial ressaltar a importância de parcerias público-privadas em ações conjuntas que conectem todas as estruturas e partes envolvidas.

Acreditamos que as mudanças comportamentais e culturais de uma sociedade a favor da preservação do Planeta Terra só ocorrerão se houver uma mobilização e uma pressão social dos atores envolvidos: poder público, iniciativa privada e sociedade civil organizada. A sustentabilidade do planeta depende da união de forças advindas em primeiro lugar de cada um de nós como pessoas e cidadãos responsáveis e comprometidas com essa causa; de políticas públicas e privadas para um desenvolvimento sustentável integrado nos pilares econômico, social, cultural e ambiental; da consciência das organizações como geradoras de riqueza de bens produtivos e simbólicos; de uma sociedade civil organizada capaz de induzir processos de mudanças e intervenções num mercado dominado pelos interesses de obtenção de lucros a qualquer preço; e de um Estado forte capaz de se libertar das mazelas da corrupção e

⁴ Uma comunicação no modelo "top-down" normalmente é uma transmissão da liderança para outras camadas da organização e consiste em um modelo que limita a possibilidade de diálogo, troca, colaboração e construção de novas perspectivas sobre as decisões e suas consequências.

de uma política contaminada pelo fisiologismo e pelos interesses particulares dos seus agentes (KUNSCH, 2023).

Além dos impactos ambientais, há os inúmeros aspectos sociais consequentes do modelo econômico, cultural e social predominante, como o trabalho análogo à escravidão na indústria da moda, as centenas de indígenas contaminados por mercúrio como consequência da mineração e os impactos imensuráveis consequentes da intoxicação por agrotóxicos no Brasil.

Apesar das mudanças que esse modo de viver e de produzir causam em nossas vidas, nas vidas de outros povos e nos ecossistemas, conectar os produtos aos seus impactos ambientais ainda não é uma prática e não é uma tarefa tão simples de ser resolvida. Apesar de já existirem marcas que destacam a pegada de carbono em suas embalagens, ou que realizam estudos de *eco-design* a fim de minimizar o seu impacto ambiental, as organizações ainda enfrentam dificuldades em mensurar o impacto do que produzem e, consequentemente, em desenvolver maneiras de mitigar esses impactos - continuam por preferir a forma mais "fácil" de lidar e seguem com as estratégias de compensação ambiental. Essa cultura da "compensação" gera diversos problemas - as organizações seguem uma forma linear de produção ao invés de investirem em processos regenerativos, e se baseiam em processos de compensação que ainda estão em desenvolvimento e que têm se mostrado cada vez mais frágeis em suas estruturas. Um exemplo é a compensação de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) que tem sofrido diversas críticas devido à alta probabilidade de aquisição de créditos de carbono duplicados. Ainda, por parte dos consumidores, os impactos ambientais negativos costumam não ser analisados de forma relacionada aos produtos. Por exemplo, ao comprar uma joia, poucos pensam na mineração que possibilitou produzir aquele objeto-produto e que foi responsável pela poluição de áreas ribeirinhas e indígenas.

Sim, existem iniciativas que visam enfrentar os desafios apontados. No entanto, apesar de serem fundamentais, não são suficientes para resolvermos as diversas problemáticas da atual crise ecológica. Nesse sentido, qual seria o papel a ser executado e o caminho a ser percorrido para que não apenas as organizações, mas nós, consumidores e seres humanos, além dos não humanos, todos habitantes do Planeta Terra, tenhamos consciência do impacto das nossas escolhas e saibamos quais alternativas seguir?

A contextualização do cenário atual do Planeta Terra terá como base a abordagem referente às "nova(s) era(s) geológica(s)" em que nos encontramos e a introdução dos dois conceitos que resumem esse momento: o "Antropoceno" e/ou o "Capitaloceno". Para iniciar as reflexões sobre as conexões entre ser humano, o planeta e as tecnologias, a Teoria de Gaia será abordada. Com essas conexões, serão introduzidas algumas das ideias de Latour para sustentar a discussão sobre as redes distribuídas que conectam todas as partes - principalmente a relação entre o ser humano e os não humanos - com enfoque no digital e na biosfera.

2.2. O Antropoceno e o Capitaloceno

O Fórum Econômico Mundial ou *World Economic Forum* (WEF), em inglês, publica anualmente o *Global Risks Reports*⁵ a fim de destacar os atuais riscos globais que serão vividos pela humanidade no ano de publicação. Neste ano (2023), 6 (seis) dos 10 (dez) riscos de longo prazo mapeados são ambientais, e 4 (quatro) desses 6 (seis) riscos lideram as quatro primeiras posições. Os riscos estão relacionados principalmente à crise climática - falha nas ações de mitigação e adaptação, desastres naturais e eventos extremos de clima -, além da perda de biodiversidade, colapso dos ecossistemas, crise dos recursos naturais e incidentes em larga escala.

Está mais do que claro que as ações humanas já mudaram, estão mudando e mudarão ainda mais o sistema biofísico do Planeta Terra. A perda da biodiversidade devido ao clima, tempestades extremas e acidificação do mar são alguns dos diversos exemplos. Por esse motivo, em 1980, o biólogo norte-americano Eugene Stoermer cria a palavra "Antropoceno" para nomear uma nova época ecológica, que surge a partir do momento em que foi constatado que as ações antrópicas alteravam as características biofísicas do Planeta Terra e que, a partir de 2000, ganha notoriedade por meio de Paul Crutzen.

Para entender a origem desse conceito é importante relembrar alguns acontecimentos históricos marcantes. O ano de 1784 marcou o surgimento da máquina a vapor, o início da primeira revolução industrial e do uso dos combustíveis fósseis. Em 1850, momento da industrialização capitalista, o carbono antropogênico já havia sido notado em sedimentos, mas essa descoberta não foi suficiente para alterar a percepção de pesquisadores em relação à

⁵ Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2023/>.

época geológica em que viviam. Apesar da "hiperaceleração" ter tido o seu início em 1970 e a intensificação da atividade industrial ter ocorrido nos anos seguintes ao término da Segunda Guerra Mundial, alguns séculos depois da primeira revolução industrial, em 1950, já começava a chamada "Grande aceleração" e componentes químicos e partículas de plástico de origem antropogênica são encontrados em sedimentos. Com a descoberta desses componentes, passa-se a notar a relevância das ações de origem humana - constatação essa que suscita e sustenta a discussão sobre o surgimento de uma "nova época geológica": o Antropoceno. Interessante notar o papel do plástico como um elemento-chave da virada do pensamento. Afinal, hoje, o microplástico já está presente na água em que bebemos, em alguns alimentos que consumimos e faz parte do nosso dia a dia de diversas formas.

A criação do Antropoceno foi fruto de pensamentos que reconheceram as mudanças biofísicas que as ações antrópicas passaram a causar na Terra em escala planetária. Em um momento, o Antropoceno deixa de ser apenas uma forma de caracterizar as mudanças que ocorrem na Terra por causa das ações humanas e se torna uma nova era geológica. Antes da década de 80, considerava-se que o mundo estava vivendo o Holocene, que se iniciou há aproximadamente 12 (doze) mil anos com o fim da era do gelo. Contudo, a ruptura do equilíbrio do Planeta Terra foi e tem sido tão expressiva que, na visão de um grupo de pesquisadores, conseguiu interromper uma era de mais de 10 (dez) mil anos e iniciar outra na qual nenhum meteoro ou derretimento da geleira foi capaz, mas sim ações de empresas, governos e seres humanos.

Pode-se dizer que os seres humanos convivem com a biosfera há séculos, mas a lógica do Antropoceno parte do momento em que as atividades humanas deixam de ser apenas ações que viviam em equilíbrio com o sistema natural (a nível planetário) e passam a ter um real impacto nas condições da biosfera. Esse cenário nos faz refletir "Se os seres humanos estão no Planeta Terra há tanto tempo, por que agora surgiria uma nova era geológica "causada" por nós mesmos?". Segundo esse questionamento, o conceito "Antropoceno" gerou diversas discussões entre pesquisadores, para os quais não fazia sentido generalizar essa "nova era geológica" sendo um resultado da ação humana, mas o resultado de um grupo específico da espécie humana com características que geram esses impactos.

O ser humano que impactou e impacta o meio ambiente negativamente não é o ser humano de origem indígena, por exemplo, que vive em constante troca e equilíbrio com a

biosfera. Ao analisarmos a ideia do conceito de Antropoceno, estamos considerando o impacto de parcela da sociedade composta pelo grupo de seres humanos que prioriza o avanço econômico às custas dos recursos naturais ao extrapolar a extração e exploração da biosfera, destruir ecossistemas, biomas e a sua biodiversidade de fauna e flora, poluir recursos hídricos, entre muitos outros impactos negativos. Aqui, contemplamos o ser humano ocidental e o sistema do qual ele faz parte e é guiado: o sistema capitalista, que já se mostrou insustentável, responsável pela criação de desigualdades e desequilíbrios socioambientais, principalmente por priorizar o lucro e o poder do capital financeiro. Assim, é importante refletir sobre os reais responsáveis pela transgressão dos limites biogeofísicos. Nesse sentido, nota-se que o que se encontra no centro das tomadas de decisões de empresas, governos e da sociedade, e pode assumir a responsabilidade pelas mudanças biogeofísicas, não é somente a ação humana - aqui representada pelo Antropoceno -, mas o protagonismo do capital financeiro.

Acontece para a Terra inteira o que aconteceu, nos séculos anteriores, com a paisagem: sua progressiva artificialização torna o conceito de “natureza” tão obsoleto quanto o de “wilderness”. Mas a desintegração é ainda mais radical do lado dos até agora humanos. Aí está toda a ironia de dar à tradicional face do Anthropos novo contorno. Seria de fato absurdo considerar que existe um ser coletivo, a sociedade humana, que seria o novo agente da geo-história, como foi o proletariado em outra era. [...] Falar da “origem antrópica” do aquecimento global não faz sentido, de fato, se alguém entende por “antrópico” algo como “a espécie humana”. Quem se atreve a falar do humano em geral, sem levantar imediatamente mil protestos? Vozes indignadas surgirão para dizer que não se consideram responsáveis de nenhuma maneira por essas ações em escala geológica – e terão razão! As nações indígenas no coração da floresta amazônica nada têm a ver com a “origem antrópica” da mudança climática – pelo menos até o momento em que políticos em campanha eleitoral não distribuem motosserras a eles. Os pobres nas favelas de Bombaim também não podem sonhar em ter uma pegada de carbono maior do que a deixada pela fuligem negra emitida por seus improvisados fogões. Tampouco o trabalhador que é obrigado a fazer longas viagens de carro porque não conseguiu encontrar uma moradia popular perto da fábrica onde trabalha: quem se atreveria a deixá-lo envergonhado por sua pegada de carbono? É por isso que o Antropoceno, apesar do nome, não é uma extensão imoderada do antropocentrismo, como se pudéssemos sentir orgulho de termos sido transformados para sempre em uma espécie de Super-Homem voador em traje vermelho e azul. Pelo

contrário, é o humano como um agente unificado, como uma simples entidade política virtual, como um conceito universal, que deve ser dividido em vários povos distintos, dotados de interesses contraditórios, de territórios em luta, e convocados sob os auspícios de entidades em guerra – para não dizer divindades em guerra (LATOUR, 2020).

Com essa perspectiva em mente, surge outro conceito que melhor define a nova era geológica em que vivemos e é tida como fruto da ação antrópica e capitalista: o Capitaloceno - ou, como alguns pesquisadores definem, o Ocidentaloceno. O Capitaloceno é uma releitura do Antropoceno que dá destaque ao capital financeiro como o centro das mudanças, motivações e razões pelas quais o Planeta Terra tem sofrido impactos negativos - afinal, ao citarmos as revoluções industriais, também estamos falando sobre crescimento econômico, e um período em que a prosperidade econômica conquistava o centro das decisões.

O importante de destacar sobre o Antropoceno e/ou o Capitaloceno como nova(s) época(s) geológica(s) é a reflexão acerca do "como" o ser humano conseguiu gerar impactos com uma magnitude tão devastadora a ponto de gerar diversas crises com consequências inestimáveis. A velocidade e escala dos impactos e consequências reflete os objetivos do ser humano que vão além da construção de uma vida equilibrada e demonstra o seu anseio em produzir cada vez mais, mais rápido, com menor custo, a fim de gerar mais capital financeiro. A dominância de uma produção em uma lógica linear que não visa retornar os recursos extraídos para a cadeia de valor, por exemplo, demonstra a raiz das ações dominantes: produzir para lucrar e ignorar a base que deveria ser a manutenção do meio ambiente. Essas consequências não se limitam aos aspectos biofísicos do planeta terra, mas extrapolam e impactam as comunidades e grupos mais vulneráveis - fato que suscita discussões em torno do racismo ambiental, por exemplo. Esse aspecto reflete uma das conclusões mais importantes para a compreensão do mundo e o desenvolvimento de soluções: a interconexão entre as crises e a interdependência das soluções. Nesse contexto, há diversas variáveis que contribuem para esse sistema a serem consideradas, como o crescimento populacional que demanda a produção de bens e serviços cada vez mais acelerada, por exemplo.

De qualquer forma, ainda há estudiosos que se contrapõem a essa ideia e destacam que o ser humano tem impactado negativamente o meio ambiente há mais de 40 (quarenta) mil

anos. Alguns sugerem a abordagem do "longo Antropoceno", que seria dividido em subperíodos - uma ideia que não será explorada pelo presente texto.

2.3. A teoria de Gaia

Diante desse cenário entrelaçado por diversas crises ambientais, percebemos cada vez mais as dificuldades enfrentadas na busca de um planeta com uma vida terrestre e marinha ambientalmente equilibrada.

A teoria de Gaia, criada por James Lovelock na década de 60, e reforçado pelas pesquisas da bióloga norte-americana Lynn Margulis, traz uma perspectiva muito interessante sobre as condições físico-químicas do Planeta Terra como fruto da capacidade de autorregulação por meio da interação entre organismos e seus ambientes. A teoria dá relevância para o modo em que o sistema planetário funciona com os seres vivos e considera que, a evolução biológica e do ambiente físico-químico, são processos interligados. Essa perspectiva se sustenta a partir de uma ideia que considera que por meio de "alças de retroalimentação" a biosfera, atmosfera, litosfera e hidrosfera se interligam e se tornam um sistema cibernetico que visa controlar o estado do Planeta Terra por meio de ações de adaptação que têm como objetivo final manter variáveis que possibilitem uma condição habitável para os seres vivos.

Essa manutenção era uma crença do pesquisador Lovelock, que acreditava na capacidade dos seres vivos de interagirem, alterarem e estabilizarem as condições físico-químicas do meio ambiente planetário. Esse sistema, que funciona por meio de um controle adaptativo, possibilita o alcance da homeostase planetária, de modo a conservar as condições para a manutenção da vida na terra.

A ideia mais precisa que posso dar disso é que Gaia é um sistema evolutivo, um sistema composto, por um lado, de todos os objetos vivos e, por outro, de seu ambiente de superfície – os oceanos, a atmosfera e as rochas da crosta terrestre –, estando as duas partes intimamente acopladas e indissociáveis. É um “domínio emergente” – um sistema que emergiu durante a evolução recíproca dos

organismos e de seu ambiente ao longo dos bilhões de anos de vida na Terra. Nesse sistema, a autorregulação do clima e da composição química é inteiramente automática. A autorregulação surge à medida que o sistema evolui. O que não implica nem previsão, nem antecipação, nem teleologia (que sugerisse um projeto ou uma intenção na natureza) (LATOUR, 2020).

A partir da Teoria de Gaia e da reflexão perante o Antropoceno e Capitoloceno, é possível desenhar uma lógica de raciocínio baseada em questionamentos sobre a relação entre humanos, o meio ambiente e os elementos não humanos. Com a Teoria de Gaia, é possível iniciar a nossa reflexão sobre o equilíbrio do sistema planetário e o impacto das relações interligadas entre os diferentes tipos de vida. A Gaia tende a se autorregular por meio dessas interações. Contudo, se houver um desequilíbrio por parte de algum desses tipo de vida, a Gaia se sente na necessidade de "expulsar" o que a impossibilita de torná-la equilibrada.

Pouco a pouco, somos forçados a redistribuir por completo o que antes se chamava natural e o que se chamava social ou simbólico. Você se lembra daquele fosso que pensávamos ser intransponível entre a geografia “física” e a geografia “humana”, ou entre a antropologia “física” e a antropologia “cultural”? A partilha entre as ciências sociais e naturais é extremamente confusa. Nem a natureza nem a sociedade podem entrar intactas no Antropoceno, esperando ser “reconciliadas” em silêncio (LATOUR, 2020).

É nítido que o sistema biofísico da Terra se altera ao longo do tempo pela mudança de temperatura, por exemplo, pois essas mudanças são normais e são reguladas. Contudo, nos últimos tempos, temos notado mudanças drásticas nas condições biofísicas da Terra com repercuções extremamente difíceis de serem contornadas. Nesse momento, em que percebemos que o impacto do ser humano e seu modo de produzir, consumir e agir tem causado impactos prejudiciais para o sistema planetário, faz sentido compreendermos que já estamos vivendo uma outra época, baseada no capital financeiro, como comentado anteriormente.

Nesse novo contexto, é importante destacar que não há nada externo ou frontal à existência humana, pois as teorias relacionadas ao Antropoceno e à teoria de Gaia pressupõem a superação e alteração do conceito e da ideia de "natureza" - concebida pelos gregos como uma simples paisagem ou "algo" ao redor e à frente dos seres humanos e da sua existência, da qual seríamos considerados apenas como destruidores. Nessa abordagem, o ser humano não é visto como parte integrante da biosfera. Contudo, diversos autores apontam para a importância da superação desse conceito de "natureza" devido, principalmente, ao entendimento de que há a formação de conjuntos, ecossistemas e biodiversidades da biosfera que são constituídos por uma malha de interações formantes de uma nova ecologia guida pelo pressuposto fundamental de que não há mais natureza. Nessa dinâmica, há a perda da ideia do natural e artificial, pois o entendimento relacionado à "intervenção humana" é alterado. Hoje, existe uma totalidade que contempla os ecossistemas e a biosfera como resultados de interações complexas das quais fazemos parte e somos inseridos completamente de forma endossimbiótica e em que cada elemento é composto pela totalidade - e que a própria totalidade é composta por cada elemento. Essa superação do conceito de "natureza" revela que não faz mais sentido descrever a complexidade de Gaia considerando o ser humano apenas como ser biológico, pois ele também tem uma dimensão geológica - e essa constatação se torna uma premissa.

Já foi abordada a importância de pensarmos na Terra como um sistema autorregulador do qual fazemos parte - seguindo a Teoria de Gaia - e a destruição do "meio ambiente", liderada por nós, seres humanos - seguindo a nova era do Capitaloceno e Antropoceno. A seguir, mais um pilar dessa discussão será aprofundado: a relação entre o ser humano, o meio ambiente e os não humanos.

2.4. A Teoria Ator-Rede (TAR)

Apesar de muitas vezes não notarmos, não atuamos e nem vivemos sozinhos. Nós respiramos, pois há árvores e algas nos oceanos que estão, ininterruptamente, realizando a fotossíntese e disponibilizando oxigênio. Nós trabalhamos - aqui, considera-se o ser humano cosmopolita - pois há aparelhos eletrônicos como computadores e celulares, sistemas para nos comunicarmos e realizarmos as nossas atividades, rede de *internet* para nos conectartermos, e meios de transporte, como carros e ônibus. Com poucos exemplos, já é possível notar a

interdependência existente entre as diversas interligações entre os seres humanos, objetos e outros entes inanimados, que possibilitam e alteram a nossa forma de viver e atuar.

Uma teoria que evidencia a relação entre humanos e não humanos é a Teoria Ator-Rede (TAR) ou, em inglês, *Actor-network theory* (ANT)⁶. De acordo com Latour (2011), quando o convidaram para realizar algumas palestras em 1996, ele sentiu que era o momento de sintetizar o que havia aprendido com diversas(os) outras(os) pesquisadoras(es) - como Law, Akrich, Callon, entre outros -, por meio de análises relacionadas à ciência e tecnologia realizadas durante alguns anos anteriores (SCHMITT, 2011). Bruno Latour, nascido em 1947, foi um filósofo, sociólogo e antropólogo francês, e tornou-se uma referência do pensamento ambiental, sendo a ANT uma de suas teorias mais reconhecidas mundialmente. A teoria tem como objetivo evidenciar que tudo que está presente no mundo - humanos e não humanos, como, por exemplo, tecnologias, animais e/ou sistemas - impactam, atuam com os seres humanos e têm agência sobre todos os acontecimentos e modos de viver - de alguma forma -, em uma dinâmica capilarizada que considera diversas interconexões entre causas e efeitos que se confundem e se mesclam, e fazem parte do "processo de constituição da sociedade" (MILANÊS, 2021). A perspectiva que é criada se baseia no fato de que "os elementos do mundo material não são apenas mobilizados pelos seres humanos, mas participam, efetivamente, da ação" (SCHMITT, 2011).

Segundo Milanês (2021), a atenção dada por Latour aos não humanos em sua teoria ANT - a qual será aprofundada adiante - não é algo recente, principalmente devido à sua publicação em 1987 de um trabalho com Shirley Strum, uma primatóloga americana, intitulado como "Redefining the social link: from baboons to humans", no qual já defendem a ideia de que é por meio das coisas que as nossas relações são constituídas e, por esse motivo, deveriam estar incluídas nas análises sociais. Os autores criam uma hipótese de "que sem as coisas, seria difícil construir e manter as relações sociais" (MILANÊS, 2021). Assim, os humanos não seriam os únicos atores sociais, mas tudo o que gera algum impacto no mundo. Nesse sentido, a partir da reflexão que eleva e destaca o papel de impacto dos não humanos, e os torna como "mediadores das sociedades humanas", os autores

⁶ Na tradução de seu livro "Reagregando o social: Uma introdução à Teoria Ator-Rede", publicado em 2012, Bruno Latour optou por manter o acrônimo "ANT", que se refere ao conceito em inglês, Actor-Network theory. O autor decidiu manter ANT ao invés de TAR, que corresponde ao nome da teoria em português, porque o último não evoca nada ao leitor. Já ANT que, se traduzido, se torna "formiga" em português, inseto com o qual Latour se identifica em sua obra e a relaciona à teoria algumas vezes.

concluem que "as tecnologias podem ser apontadas como elementos fundamentais que são capazes de tornar as sociedades humanas duráveis" (MILANÊS, 2021).

Antes de apresentar a visão de Latour relacionada à ciência e ao meio ambiente, é importante destacar que Latour abrange em suas reflexões uma nova forma de enxergar o social. Um dos direcionamentos do filósofo é considerar o social como algo dinâmico, vivo e que seria um resultado de múltiplas interações entre diversas formas humanas e não-humanas.

Assim, a ANT considera o social como algo que parte da interação entre diversos actantes. Não há uma origem, causa e efeito, mas um emaranhado de ações, processos, interações plurais, distintos, incompletos, dinâmicos e conectados. A análise não segue uma ordem, nem uma linearidade, mas considera o social como algo que "não é fixo, ele é fluido, é uma interação, não é uma força oculta e externa que nos domina" (MILANÊS, 2021), e faz parte da construção de uma "sociologia de verbos e não de uma sociologia de nomes" (LAW, 1994, p.15 apud SCHMITT, 2011). Essa constatação de Law em relação à "sociologia de verbos" dá destaque para o papel dos não humanos, que não apenas existem, mas atuam e têm impacto direto nos fenômenos sociais.

A ANT pode ser considerada como um dos frutos de um debate de propostas sociológicas distintas entre as ideias de Gabriel Tarde e Émile Durkheim. Segundo Pastor (2019), uma das questões que discordavam entre si era o seu entendimento sobre a constituição das ciências sociais. Latour (2012, p.27) denomina como "Sociologia do Social" a visão desenvolvida pelo filósofo Durkheim e a abordagem influenciada por Tarde como "Sociologia das Associações". Dessa forma, apesar de Durkheim ser considerado uma figura essencial para o estudo da Sociologia e fundador da sociologia científica e Tarde ter sido "neutralizado como mero precursor da disciplina" (VARGAS, 2007, p.9 apud PASTOR, 2019), Tarde pode realmente ter sido um grande precursor da teoria ANT. Essa constatação se deve ao fato de que o novo olhar para o social baseado na proposição da "Sociologia das Associações" se torna uma importante base para uma das criações mais destacadas para a ciência de Latour e a supracitada ANT, tendo em vista a incorporação dos não humanos nas análises sociais por Tarde que, antes de Latour, já demonstrava a importância de nos distanciarmos de um "preconceito antropocêntrico" (TARDE, 2007, p.76 apud PASTOR, 2019).

A forma pela qual a ciência foi construída e estruturada, segundo Latour (2012), limita o social às ações do ser humano e deixamos de considerar que a análise do social se estende para além de uma visão antropocêntrica. Para concretizar o seu pensamento e uma nova abordagem do social, Latour "argumenta pela necessidade de se resgatar" a perspectiva sociológica de Tarde (PASTOR, 2019) e, quando propõe essa nova abordagem contra os direcionamentos da "Sociologia do Social" de Durkheim "Latour proclama um renascimento desta disciplina" (MILANÊS, 2021). Esse novo olhar para o social, que o considera como "um princípio de conexões", destaca que não há motivos "para separar o "social" de outras associações como os organismos biológicos ou mesmo os átomos" (LATOUR, 2012, p. 33) e caminha em uma direção oposta à defendida por Durkheim, com o objetivo de "expandir a diversidade e pensar o social para além de uma realidade humana fechada" (PASTOR, 2019).

Segundo Marras (2007 apud MILANÊS, 2021), Gabriel Tarde considerava todas as coisas como sociedade e não os fatos sociais como coisas e, por esse motivo, não começava os seus estudos sempre partindo do social, como Durkheim. Esse fato resume a discussão entre os dois pensadores, pois a "compreensão da atividade sociológica de Tarde não era exclusividade da atividade humana" como acreditava Durkheim, "mas ia além e envolvia outras dinâmicas, processos e seres não humanos" (MILANÊS, 2019). Assim, como resume Pastor (2019), "para Tarde, o social se coloca como aquilo que deve ser explicado, e não como conjunto explicativo".

A "Sociologia das Associações" de Tarde considera o social como "um movimento de reassociação e reagregação, atentando sempre para o modo como tudo se conecta" (MILANÊS, 2021) e permite "investigar as múltiplas conexões de híbridos de humanos e não humanos" (LATOUR, 2012 apud PASTOR, 2019). Assim, o social torna-se relacional e associativo composto por múltiplas e híbridas interações entre humanos e não humanos. Contrariando as teorias durkheimianas, Latour (2014 apud PASTOR, 2019), explica que "Gabriel Tarde lidava diretamente com uma conexão entre a teoria social e as questões metafísicas que a permeiam". Essas discussões impactaram e causaram uma "reconfiguração do que se entende por social – ou, simplesmente, um resgate de um social associativo, como sugere Tarde –, o social como associação" (LATOUR, 2014 apud PASTOR, 2019), um social que ultrapassa as relações entre humanos, mas que se manifesta "nas máquinas, no trabalho das abelhas, das formigas" (PASTOR, 2019).

Segundo Pastor (2019), Vargas (2000, p. 195) lembra que, ao contrário do que se poderia inferir, o "social" de Tarde não é explicado pelo individual: "o que importa são os microrrelacionamentos, as múltiplas relações difusas e infinitesimais que se produzem entre ou nos indivíduos." Essa visão sustenta uma abordagem que considera que o social e a sociedade são constantemente alteradas e impactadas pelas diversas conexões entre humanos e entes não humanos.

As análises da ANT consideram que "tudo aquilo que gera uma ação, que produz movimento e diferença, seja ele humano ou não-humano" (PRAUDE, 2015) são actantes. Os actantes são considerados como "mediadores" que transformam, traduzem, distorcem e modificam o significado que supostamente transportam (LATOUR, 2012; LATOUR, 2000 apud PRAUDE, 2015). Portanto, Praude (2015) destaca que pode-se considerar como um actante um ser humano, e objetos tangíveis - como um computador, uma mesa, uma árvore - ou objetos intangíveis - como softwares, tecnologias e sons. Ainda, o autor comenta sobre os "interagentes", que interagem e participam das diversas associações com os demais elementos. Ao citar os "actantes", é importante mencionar que Latour não acredita que haja algum "sujeito" ou "ator", uma pessoa ou algo que seja o único e exclusivo responsável por alguma ação ou impacto. Seriam as interconexões e interligações entre actantes que, por meio de sua interação, geram acontecimentos. Antes, o foco das ações e impactos eram centralizados no ser humano. Contudo, hoje com o *big data*, a IoT (*Internet of Things*) - em português, a *Internet das coisas* -, e tantas outras tecnologias digitais, nenhuma ação é fruto de um ato humano, mas a conexão dele com suas tecnologias digitais, o meio ambiente, entre outros. É essa relação e as diversas associações entre os actantes que gera a noção de redes.

Outro ponto essencial das reflexões de Latour é a fuga da dicotomia entre a "natureza" e sociedade. Os posicionamentos modernistas que separam e hibridizam o mundo natural - a biosfera - e o mundo social - a sociedade -, sujeito e objeto, tecnologia e sociedade, e acreditam que cada polo dicotômico deveria ser analisado separadamente, são criticados por Latour (ARAÚJO, 2009 apud FRANÇA et al., 2015) - inclusive em sua obra "Jamais fomos modernos". O filósofo acredita que, seguindo a ANT, não faria sentido ocorrer essa separação em uma sociedade heterogênea, na qual elementos e actantes animados e inanimados fazem parte do processo interativo (FRANÇA et al., 2015).

Uma coisa é certa: o antigo papel da “natureza” se encontra completamente redefinido. O Antropoceno direciona nossa atenção para muito mais do que uma “reconciliação” entre natureza e sociedade em um sistema maior que seria unificado por uma ou por outra. Para operar essa reconciliação dialética, seria preciso aceitar a linha divisória entre o social e o natural [...] Mas o Antropoceno não “ultrapassa” essa partilha: ele se desvia completamente dela. As forças geo-históricas não são mais as mesmas que as forças geológicas desde o momento em que se fundiram, em vários pontos, com a ação humana. Onde quer que estivéssemos lidando com um fenômeno “natural”, encontramos os “Anthropos” – pelo menos na região sublunar que é nossa –; e onde quer que nos atenhamos aos passos do humano, descobrimos maneiras de nos relacionar com as coisas que haviam sido localizadas no campo da natureza (LATOUR, 2020).

A percepção da vida, e as próprias pesquisas, costumam separar o ser humano e a biosfera em análises de ação e resultados, e não se aprofundam nas diversas consequências que a relação entre essas duas - e as diversas - esferas geram. Latour tenta transformar essa percepção e entendimento afirmativo por meio da criação de teorias e geração de perspectivas que rompem com o antropocentrismo das análises e dá voz aos não humanos, como a biosfera, os objetos, as tecnologias, e não apenas para os humanos. As facetas devem ser encaradas como duas frentes de igual importância que devem ser exploradas de forma simétrica, "pois ambos requerem uma explicação conjunta" (MILANÊS, 2021).

Dessa forma, a visão fragmentada que divide humanos, meio ambiente e tecnologia já é considerada como ultrapassada, justamente devido ao impacto evidente que cada ação causa em outro. Os impactos mútuos e a atuação conjunta compõem o social em que vivemos por estarmos conectados com todas as frentes de alguma forma. Quando paramos para pensar na dinâmica entre esses diversos entes com base na ANT, notamos que passa a acontecer uma coisificação do social ao mesmo tempo que os não humanos se humanizam (MILANÊS, 2021).

Segundo Milanês (2021), para Latour, a biosfera e a sociedade são o resultado de trocas de elementos humanos e não humanos, devido à sua interação constante. Essa constatação defende que a biosfera e a sociedade não são "fenômenos" prontos. Nesse sentido, para o antropólogo francês, devemos criar uma outra perspectiva além da que já predomina de que "o sujeito constrói o objeto" (MILANÊS, 2021), mas que "o objeto também constrói o sujeito". A autora destaca que os não humanos são concomitantemente sociais e não-sociais, produtores de naturezas e construtores de sujeitos (LATOUR, 2013, p. 110 apud MILANÊS, 2021).

Como destaca Milanês (2021), apenas por meio de "uma análise da rede de práticas e de instrumentos, de documentos e traduções" seria possível aumentar os actantes e o "horizonte da análise do mundo social, passar continuamente do local ao global, do humano ao não-humano". Nesse ponto da discussão é importante destacar o "princípio de simetria", uma alternativa proposta por Latour (2013 apud MILANÊS, 2021) que teve como objetivo fazer com que a biosfera e a sociedade fossem explicadas e abordadas de forma igualitária a fim de superar e romper com a assimetria e "abismo entre homens e coisas, entre sociedade e biosfera e entre Ciências Sociais e Ciências Naturais", uma característica marcante das abordagens das ciências sociais.

O "princípio de simetria" tem como objetivo explicitar que o grau de importância de um sujeito e um objeto é o mesmo (PRAUDE, 2015) e estão todos em um emaranhado de "associações entre os diversos actantes e suas respectivas ações" (PRAUDE, 2015). Latour cria uma perspectiva inovadora por dar importância aos processos "microssociais" (MILANÊS, 2021), nos quais objetos das ciências e da tecnologia participam de forma simétrica aos humanos, e não são apenas enquadados e explicados por meio de teorias estáticas. Nesse sentido, Milanês (2021) destaca que, para Latour, os humanos utilizam objetos "para cumprir e fortalecer as relações sociais" e, que para a ANT, as relações sociais e a sociedade são criadas a partir da circulação das coisas. Nessa direção, os objetos não são apenas representações físicas e simbólicas de algo, mas têm agência e possibilitam o funcionamento da sociedade - apesar de não terem intencionalidade "são atores, estão conosco no palco" (MILANÊS, 2021). Assim, "as coisas assumem um papel estratégico na construção, expansão e também na durabilidade das redes e dos componentes básicos do social" (WILKINSON, 2004 apud MILANÊS, 2021).

A partir do "princípio da simetria", os não humanos passam a ser considerados como participantes das ações e acontecimentos, e conquistam o seu espaço nos debates sociológicos. Dessa forma, o entendimento do social se torna menos antropocêntrico e, então, surgem discussões relacionadas aos direitos que esses atores teriam.

Com a introdução de "novos atores", a abordagem da ANT se baseia em uma análise e uma noção específica de "redes". Nesse cenário, há a superação de uma abordagem e análise linear de acontecimentos - já previamente analisado, definido e explicado -, que não temos controle e, assim, surge um "novo social" baseado em associações entre os mais diversos atores, sem ordem, linearidade, em uma constância de movimentações. Segundo MILANÊS (2021), praticar as ciências sociais "no estilo ANT não é uma tarefa fácil, pois é ter sempre a incerteza quanto à natureza dos grupos, da ação, das coisas, dos fatos sobre o modo de conhecer e escrever sobre o social". A partir de uma análise baseada na ANT, o pesquisador está em uma constante tentativa de transitar, analisar e explicar cada "escopo" de actantes de forma simétrica e conjunta, acrescentando à análise elementos negligenciados como objetos de estudo, e restaurando uma unidade do pensamento científico.

Segundo Schmitt (2011), a consideração de ações de humanos e não humanos em análises, inerentes ao processo de "coisificação" de seres humanos e "humanização" de não humanos "é uma propriedade emergente das redes". O autor constata que esses processos hibridizam as relações e dificultam a classificação e definição de cada ente envolvido na rede e no "mundo das pessoas e das coisas".

A rede não é contexto ou intermediação, é uma referência utilizada para descrever o mundo [...] Não é produto, mas processo. Não é um dado, mas resultado. O social, nestes termos, pode ser analisado com base nas suas interações ativas, podendo ser performado. E o ator (ou actante) é tudo o que age nessa rede, e que deixa efeito neste mundo. Nunca está sozinho, pois sua atuação é distribuída [...] A rede é, portanto, uma 'ferramenta metodológica' a partir da qual não apenas acompanhamos ou descrevemos as coisas do mundo, mas, acima de tudo, criamos um mundo. Na observação de determinadas situações, o que interessa é seguir os atores em ação, suas conexões e os efeitos que eles apresentam (AZAMBUJA, 2012, p.33).

Essa dificuldade na categorização dos entes se dá justamente por um dos direcionamentos da ANT que não define nenhum ator - ou actante - como proprietário e/ou fonte de alguma ação e/ou efeito. Nessa configuração, o ator faz parte de uma rede de acontecimentos e ações que se encontra sempre em construção, repleta de ações com "efeitos" inacabados e intermináveis, sem consequências bem definidas que constroem o social continuamente. Schmitt (2011) comenta que o ator apenas existe devido a esse conjunto de associações existentes entre os diversos agentes humanos e não humanos, que se conectam por meio de diferentes processos. Nessa direção, Milanês (2021) destaca que, como o social está em construção, nunca sabemos e saberemos "do que o mundo é feito ou quem ou o que nos leva a agir, pois as associações estão sempre se redefinindo e sendo modificadas", estamos repletos de incertezas. Por esse motivo que a produção científica de Latour se apoia "em relatos minuciosos para levar a cabo seu objetivo de tratar a ciência do modo como ela acontece, como uma sucessão não-linear de práticas socio-técnicas" (TEIXEIRA, 2001, p. 267 apud MILANÊS, 2021).

A ANT nos possibilita enxergar as relações sociais como fenômenos muito mais complexos e profundos, por envolverem objetos e outras coisas que não podem mais ser considerados como elementos superficiais e indispensáveis, mas como parte constituinte de um "novo social". Em suma, nota-se que Latour, por meio de sua teoria e as reflexões que a baseiam, dá destaque para a existência e importância dos objetos (não humanos) como participantes ativos das ações.

3. A NOVA ECOLOGIA DO SOCIAL

Apesar de difícil mensuração, são evidentes as mudanças mundiais, tanto a nível macro quanto a nível micro, decorrentes dos avanços tecnológicos e da digitalização de diversos processos e âmbitos da vida. Em um primeiro momento, parece natural pensarmos no impacto da tecnologia na comunicação, na medicina, no transporte, na agricultura, na meteorologia, e em milhares de outras frentes que, hoje, talvez nem se sustentem mais sem suas bases tecnológicas. Contudo, o avanço das ciências da computação, de tecnologias e sistemas da informação e de dados, não apenas possibilitou - e possibilita - inovar e melhorar a eficiência de processos a nível organizacional, governamental e pessoal, mas também afeta, de forma transformativa, um aspecto mais profundo: a relação entre seres humanos e a biosfera, e o próprio "ser".

Em conjunto com as colaborações de Latour que permitiram o alargamento do entendimento da "composição" do social, principalmente a partir da ANT, as diversas possibilidades de visão de mundo e oportunidades que surgem com a disseminação tecnológica também passam a impactar profundamente o que compreendemos por "social". Uma das discussões entre Tarde e Durkheim que representou um importante marco para a história das ciências sociais, já introduzida anteriormente, também colabora para uma discussão relacionada a uma nova abordagem do social considerando o impacto das tecnologias e do digital. A mediação digital da vida em conjunto com as bases do "Social Associativo" Tardiano dá sentido a uma nova definição e a um novo olhar analítico para o social - olhar esse plural e conectivo que considera a integração do digital com as redes interativas entre humanos e não humanos. Assim, a redefinição do próprio entendimento da nova configuração do social, por este não mais se restringir às relações humanas, mas estas com interação direta com as tecnologias digitais, gera a criação de uma "Sociologia Digital", pois considera o impacto do surgimento e da perpetuação das tecnologias de informação nas ciências e nas dinâmicas cotidianas que reconfigurou a vida dos seres humanos e a ciência.

3.1. Os não humanos e a sociologia digital

Apesar do sociólogo Andrew Abbott (2000) ter sido um dos primeiros teóricos a levantar a necessidade de reconstruir perspectivas das ciências sociais por acreditar que esse

campo de estudo não acompanhou as transformações da digitalização e da produção de um grande volume complexo de dados, o termo "Sociologia Digital" aparece pela primeira vez em um artigo do pesquisador Jonathan Wynn (2009) (NASCIMENTO, 2016 apud PASTOR, 2019). O artigo do sociólogo americano aborda a mudança para essa sociologia e reflete sobre as dificuldades da pesquisa relacionada ao uso de dados digitais, mídias e tecnologias para coleta e processamento de dados (PASTOR, 2019). A maior preocupação que ganha destaque é a necessidade da metodologia científica e os estudos sociológicos de acompanharem as transformações e se reconfigurarem de acordo com o novo olhar para a "vigente cultura digital" (PASTOR, 2019).

Hoje, há diversos *softwares*, sistemas, dispositivos, tecnologias e plataformas integrados a diversas atividades humanas que passa a tornar inexplicável - e até impossível - a desassociação de não humanos e a priorização da ação humana em análises. Podemos ir além e refletir sobre a ideia do teórico Marshall McLuhan (1999) que considera que “os meios são extensões do homem”, apontada por Lemos (2013, p. 160-161 apud PRAUDE, 2015), ideia essa que deve ser ultrapassada e reformulada para possibilitar a análise do meio não mais como uma extensão, mas como a própria constituição do ser humano. Com base na ANT, qualquer ente técnico, seja um *software*, por exemplo, não se constitui como uma extensão do ser humano, mas como mediador formador do ser humano. Em um cenário em que objetos e os interagentes se associam de forma intensa, capilarizada e, então, complexa, dificilmente será possível identificar o que e quem mediou ou levou a uma ação ou impacto específico.

As reflexões e o desenvolvimento de teorias filosóficas e políticas relacionadas à convivência entre seres humanos, iniciadas há séculos, podem ser consideradas como um reflexo da predominância de uma ideia do social que é baseado inteiramente nas ações humanas e composto apenas por pessoas. Fruto dessa movimentação, surge o "contrato social", um conceito discutido por pensadores como Thomas Hobbes, John Locke e Jean-Jacques Rousseau, que debatem sobre as regras comportamentais necessárias para uma boa convivência, construção de relações e funcionamento em sociedade em si. Para cada pensador, o contrato social tinha um objetivo, sendo ele manter a liberdade do indivíduo, criar um ambiente sem uma luta de interesses individuais, ou até um modelo de governo de agir de forma alinhada à sociedade. Em seus diversos formatos, o contrato social é uma representação de um acordo entre pessoas que serve para apoiar a sua organização e suas interações em sociedade.

Com a alteração do entendimento do social, a partir da integração de entes não humanos, a lógica do contrato se altera, na medida em que os integrantes e participantes desse contrato já não se limita mais apenas aos seres humanos, mas se estende aos "dados, códigos, inteligências artificiais e, a partir de sensores, florestas, climas e rios" (DI FELICE, 2020, p. 69). Essa consciência de que a sociedade agrega entes de diversas espécies, além de não humanos, desafia as limitações impostas pela ideia ocidental de que as relações se limitam a uma "ecologia do social" formada somente pela discussão pública entre humanos (DI FELICE, 2020, p. 63).

A crise da ideia sociológica do social como uma "ecologia urbana e política" concebida apenas por humanos começa a partir das contribuições e descobertas de Lovelock e seus estudos desenvolvidos que fundamentaram a Teoria de Gaia (DI FELICE, 2020, p. 64). Ao reconhecer a interdependência entre as esferas geológica, animal e vegetal que, juntas, se estruturam em uma dimensão comunicativa diferente (DI FELICE, 2020, p. 64), Lovelock, a partir da Teoria de Gaia, passa a considerar que os habitantes - inclusive as tecnologias digitais - são todos parte e expansão das redes de interações.

Assim, ao contrário do contrato social, surge o conceito de "Contrato Natural", sugerido por Michel Serres (1990). O filósofo francês faz um paralelo e levanta o questionamento: se hoje há uma interdependência e interconexão entre humanos e não humanos, como um "acordo" entre os entes de uma sociedade excluiria os entes não humanos? A fim de responder essa pergunta, Serres propõe a ideia do "Contrato Natural" que nos serve para pensarmos: para o bem estar social e ambiental, quais seriam os comportamentos corretos para todas as partes? Afinal, se não preservado, o meio ambiente pode impactar drasticamente os seres humanos.

Michel Serres, por meio da sua crítica do pensamento ocidental que separa o ser humano e o meio ambiente, também questiona a própria ideia da sociedade e destaca em uma das passagens de seu livro "Contrato Natural" que, em discursos, o ser político estaria imerso em um contrato social que contempla apenas os seres humanos e exclui o mundo composto por outros entes não humanos. O filósofo diz que é necessário voltar à biosfera - e isso requer renunciar ao contrato social e celebrar um contrato natural de simbiose e reciprocidade. Di Felice (2020, p.67) chega a comentar que, a mudança do *Contrato Social* para o *Contrato*

Natural é interpretada por Serres como a introdução de um novo léxico para o mundo que, em sua linguagem política exclusivamente focada nos humanos, inclui as voz das coisas e não humanos no mundo. Afinal, o fluxo da geração de dados por meio sensores e outras funcionalidades da *internet* das coisas permitem as coisas do mundo a terem voz, seja a biodiversidade, e todo tipo de superfície. Quando mais de uma espécie tem voz, estabelece-se assim, a possibilidade de dialogar. Essa "nova categoria" de diálogo dá espaço para explorarmos o surgimento de "um novo tipo de ecologia e de uma nova forma de contrato entre humanos e não humanos" (DI FELICE, 2020, p. 67) e, portanto, de um novo tipo de cidadania.

Afinal, ao discutirmos sobre *sociedade*, é indispensável abordar a *cidadania*, conceito que representa o direito de participação em processos de tomadas de decisões e responsabilidades de cidadãos habitantes de um local. O novo tipo de ecologia que se forma requer a revisão e questionamento do conceito, que deve contemplar a inclusão de entes não humanos em processos decisórios.

A nova percepção do social baseado na perspectiva associativa entre entes - de Tarde -, dos direcionamentos da *Sociologia Digital* e do *Contrato Natural* dão sentido a uma nova ideia de agregação criada por Latour: o "parlamento das coisas". Como a palavra parlamento, etimologicamente, tem um significado próprio a lugar de fala, Latour, até por ter sido um dos alunos de M. Serres, com a sua proposta de incluir não humanos na rede e, consequentemente, de transformar conceitualmente a ideia do social e sociedade, introduz a ideia de integrar os não humanos em um conceito geral de cidadania e explicitar a importância de todos os entes terem o seu lugar de fala.

Assim, por meio das tecnologias digitais, e a criação de uma nova perspectiva sobre a vida em si, todas as entidades - orgânicas, animais, vegetais, inorgânicas e minerais - passam de simples aspectos dos ecossistemas a entes comunicantes, como partes estruturantes e participativas da sociedade que devem ter um lugar de fala. As conexões, interdependências para a manutenção da vida na biosfera e interações comunicativas entre os entes, consequentes desse processo, tornam-se uma rede infinita - em expansão - de relações entre animais, plantas e microorganismos que, em conjunto e equilíbrio, visam manter a vida no planeta (DI FELICE, 2020, p. 65).

3.2. A evolução da *Internet*

A dimensão do digital que entendemos hoje é a consequência de um processo histórico longo de transformações da *Web* e das redes informáticas digitais de interação. Segundo DI FELICE (2020, p.23), em 1969, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos criou o projeto ARPAnet (*Advanced Research Projects Agency Network*), com o objetivo de desenvolver um sistema de informação com a capacidade de transmissão e reconstituição de informações, por meio de uma rede informativa mundial de computadores imune a ataques destrutivos em massa. A criação desse sistema de informação pode ser considerado como o início do processo de construção de redes e de arquiteturas conectivas de interação, pois esse projeto possibilitou a criação de uma nova perspectiva de conexão de informações.

No final da década de 80, a *internet* 1.0 surge com a conexão de computadores por meio de cabos telefônicos e *modems* e é caracterizada pelos conteúdos estáticos e *hiperlinks*. Em seguida, surge a *Web* 2.0 (*internet* pós-computador), com o advento da banda larga e dos cabos de fibra óptica, que permitiram a expansão da capacidade de armazenamento de informação. Na *Web* 2.0, a arquitetura informativa de rede de mensagens, pontos e canais de transmissão é transformada em um "hipercórtex cerebral" - termo cunhado por P. Lévy -, que é composto por dados e conteúdos disponíveis em nuvens, e acessíveis via computador, e outros dispositivos (DI FELICE, 2020, p.24). Segundo Di Felice (2020, p.24), a Web 2.0 realizou a primeira expansão qualitativa e quantitativa da rede, e pode ser interpretada como um dos passos fundamentais para o redesenho das interações sociais, por ter transformado a *internet* em uma inteligência global com a capacidade de possibilitar conexões entre pessoas, conteúdos, imagens, sons, dados e expandir os horizontes dos usos da *internet*.

Apesar da tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*), que possibilita a identificação, rastreio e geração de dados por radiofrequência de objetos, ter surgido há algumas décadas, a expansão da sua aplicação empurrou o surgimento do terceiro modelo de rede: a "*internet* das coisas", em inglês, *Internet of Things* (IoT). Esse modelo representa a possibilidade de conexão entre coisas, não humanas e objetos com a *internet* por meio de sensores, dispositivos, entre outros, e criou um "fluxo informativo continuado, proveniente de pessoas, coisas e superfícies de todos os tipos" (DI FELICE, 2020, p. 25). Como consequência da IoT, foi gerada uma quantidade imensurável de dados, que fez surgir uma

nova grandeza e um novo tipo de quantidade e medida chamada de *Big Data*. Nesse terceiro modelo, como todo tipo de superfície tem a possibilidade de transmitir dados na *internet* - a partir da aplicação de sensores e etiquetas -, nota-se que quaisquer tipos de entidades - como florestas, rios, atmosfera etc. - consideradas como "externalidades" passam a transmitir dados. A partir dessa possibilidade, as entidades passam a se comunicar e a interagir entre si e, principalmente, conosco. A dinâmica criada a partir dessas interações representa e reforça a constituição de um novo tipo de rede, não mais limitada às pessoas, mas que dá voz aos não humanos.

3.3. IoT e o protagonismo digital dos não humanos

Apesar de Latour dar enfoque na participação de objetos em ações humanas, com o surgimento das tecnologias digitais, o próprio ser e existir dos não humanos é alterado. A disseminação das tecnologias digitais evidencia a importância dos diversos grupos de não humanos para com os processos sociais. A relevância dos não humanos ganha outro patamar, pois a relevância desses entes se transforma por meio dos dados. Ao não contemplar apenas as pessoas, e haver a introdução de outras espécies e entidades na geração de dados, esses entes que, antes, eram considerados como objetos inanimados, são transformados em entidades comunicativas e interagentes e, portanto, nota-se a transformação da ecologia do social e uma nova arquitetura de percepção da vida, da digitalização e das conexões.

Durante esse processo de informatização, ao também se tornarem dados, os não humanos passaram por um "processo qualitativo de transformação" (DI FELICE, 2020). Segundo DI FELICE (2020), a tecnologia e os artefatos técnicos que eram sempre identificados como instrumentos controlados por nós e o que era considerado como inanimado, ao transmitir dados via *internet* por meio do processo de digitalização e as últimas formas de conectividade, geram uma nova "condição comunicativa".

Assim, o aumento das superfícies e das entidades conectadas, e a interconexão entre pessoas, não humanos, processos, biodiversidades, diversos tipos de superfícies, dados e objetos físicos entre si e pela *internet*, cria um novo conceito: a "*internet* de todas as coisas", em inglês, *Internet of Everything* (IoE), que expande a conexão apenas entre humanos e

objetos físicos e traz a geração e transmissão de dados de diversos entes como o aspecto transformativo de uma nova realidade.

A *internet* de todas as coisas cria uma nova "ecologia planetária" e pode ser considerada como a rede de redes de todas as coisas, composta pelos diferentes tipos de internet - a *Web 2.0* (*internet social*), a IoT e a internet dos dados (*big data*) - que não são redes separadas, mas integradas e interdependentes (DI FELICE, 2020, p. 33).

Esse novo tipo de rede, consequência da disseminação de arquiteturas de interação novas, pode ser considerada como uma grande representação de um contexto que, parcialmente, entende que o social e, consequentemente, as interações sociais, são compostas por seres humanos e as coisas - e mostra a criação de uma nova cultura ecológica, enfraquecendo o pensamento antropocêntrico. E mais, as conexões possibilitadas pela digitalização dão cada vez mais voz aos não humanos e, assim, possibilita formas de diálogos com entidades, ao gerar o "protagonismo informativo das coisas, das biodiversidades, dos diversos tipos de superfícies, dos algoritmos, dos dados etc." (DI FELICE, 2020, p.35 - 36).

A partir do momento em que passaram a gerar dados, esses entes ganham vida, voz e passam a ser identificados como integrantes autônomos e interagentes da realidade ao habitar o Planeta Terra com um novo tipo de protagonismo. E além de ganharem relevância, possibilitam enxergar um mundo com outras perspectivas, somente possível por causa da interação com a grande quantidade de dados gerados por inteligências de sistemas, sensores, *softwares* e outros. Nesse sentido, o processo de digitalização pode ser considerado como um dos processos responsáveis pelo surgimento de um novo tipo de conexão planetária e de uma nova cultura ecológica. Essa nova arquitetura é possibilitada não somente pela *internet* das coisas, mas também por meio da constante construção de uma rede de redes conectivas, interativas, interagentes e informativas constituída por seres humanos, tecnologias, objetos, biodiversidades, superfícies, substâncias, dados etc. (DI FELICE, 2020, p. 33).

A natureza conectiva do digital se baseia na necessidade do acesso à informação. A *internet* das coisas, como fruto e processo da construção de redes e arquiteturas conectivas de interação, por meio de superfícies e entidades conectadas para dimensão informatizada do real, transforma a ecologia do social por causa da possibilidade de diálogo e interação. Ao se

tornarem entidades comunicantes e interagentes que geram informações, a realidade se torna infomaterial e a materialidade informatizada.

A relação entre as pessoas, objetos e a biosfera é transformada por meio de dados. Essa transformação é uma consequência dos fluxos informativos entre ser humano e objeto. O objeto perde a sua dimensão imparcial e essa dinâmica cria uma nova condição habitativa. Em seu habitar, os seres humanos são condicionados a viver e estar em uma nova realidade, em um outro estado. O objeto passa por um processo profundo de transformação que se dá de forma qualitativa. Assim como com o advento da impressão, e muito antes da escrita, são esses "fenômenos" que alteram a forma do ser humano de pensar e estruturar os avanços.

A grande quantidade da geração de dados, por meio do processo de digitalização, transforma o significado da existência das coisas e não humanos. Ao se tornarem entes comunicantes e interagentes, as coisas não são mais objetos inanimados. Cada superfície foi transfigurada pelo processo de digitalização em uma arquitetura de redes que transforma cada coisa em uma entidade interagente e produtora de informação.

3.4. As redes digitais e a sustentabilidade

A Teoria de Gaia considera o Planeta Terra como um organismo vivo constituído a partir de milhares de interações instantâneas entre organismos vivos que, por meio de uma relação simbiótica na busca do equilíbrio, se tornam interdependentes. A Gaia e cada organismo vivo - ou grupos específicos de organismos - constituintes da biosfera detêm uma inteligência própria e geram consequências. A própria ANT destaca o papel dos agentes biológicos e geológicos que intervêm, atingem e transformam realidades em um microambiente (em superfícies específicas) - por exemplo, no subsolo, a nível mineral - , mas que geram incidências planetárias, por exemplo, na esfera climática.

O olhar ecossistêmico das relações simbióticas para com as ações dos atores-rede ultrapassa as simples trocas informativas, enquanto o virtual pode oferecer um potencial para a transformação qualitativa da ação social, da sociabilidade e dos territórios. Dessa forma, é essencial entender como o processo de digitalização da territorialidade e dos coletivos impacta o papel dos co-autores do processo de transformação para a sustentabilidade. Afinal,

a perspectiva das interações em rede e dinamismos interdependentes entre esses atores (humanos, tecno-informativos ou ambientais) possibilita analisar suas ações promovidas por meio das redes digitais em direção à sustentabilidade e às formas comunicativas do habitar. Sem o social conectado, não há como atuar e habitar. A digitalização torna a rede visível e o surgimento de uma nova forma de interação entre sujeito e território passa a ser mediada pela técnica.

Em seu livro "Redes digitais e sustentabilidade" (2012), Di Felice, Torres e Yanaze (2012), discutem a formação de uma "nova arquitetura do social" inserida em um novo tipo de ecologia informativa e organizativa, fruto da articulação de diversos níveis de interação entre coletivos humanos e não humanos. Essa articulação entre os diversos entes e ecossistemas, pelos quais a biosfera é composta, é possibilitada por meio da tecnologia e da nova dinâmica entre os humanos, a técnica e a biosfera. O surgimento um modelo de sociedade também gera uma nova percepção da realidade, não mais linear - constituída pela causa/emissor A e efeito/receptor B - em que predomina a ação humana, mas com uma lógica conectiva e reticular, por meio da formação de uma rede de redes de elementos (minerais, vegetais e animais) e coletivos (humanos e não humanos) conectados de forma reticular e inseridos em diálogo e discussões em um contexto de cidadania.

O surgimento de uma nova ecologia e cultura tecnológica, informativa e interativa é consequência da crise do pensamento linear e unidirecional, e sua transformação em uma lógica e perspectiva reticular. A complexificação e mudança de percepção referente ao modo de produzir e transmitir informações se manifesta em uma dinâmica "reticular e dialógica", formadora das redes de redes e transformativa para a relação entre os humanos e o meio ambiente (DI FELICE; TORRES; YANAZE, 2012, p.24).

O surgimento de tecnologias digitais em rede aproximou e redefiniu o tipo de relação entre o ser humano, a biosfera e a própria técnica, constituindo uma nova ecologia comunicativa e reticular. A nova cultura ecológica fundamenta-se a partir de uma cultura de interdependência e conectividade, na qual há uma expansão de uma "consciência planetária" que constitui-se a partir de "um ecossistema global de redes tecno-bio-sociais" (DI FELICE; TORRES; YANAZE, 2012, p.207). A interdependência da rede de redes se manifesta a partir dos fluxos informativos que ocorrem entre os entes da impossibilidade de desagregar "o social, o natural, o global, o local, as comunidades, os territórios, as tecnologias" (DI

FELICE; TORRES; YANAZE, 2012, p.207), pois estão, de forma complexa, conectados, interferem e, por meio de suas interações múltiplas, constituem a própria rede.

As formas de interação, comunicação e participação são guiadas pelo modelo informacional. Portanto, é de suma importância identificar e reconhecer o papel e a capacidade das arquiteturas informativas de alterarem a forma de perceber o mundo e de definir a realidade a partir da construção de novas formas de sentir e das novas dinâmicas de percepção e interação com o ambiente. Para Di Felice (2017), há três ecologias comunicativas da interação: as sociais e opinativas - inerentes à dinâmica da democracia -, a sociotécnica - que reconhece as interações com circuitos informativos e bancos de dados -, e a das redes transorgânicas - compostas por conexões entre os elementos que compõem a biosfera devido à digitalização dos diversos tipos de superfície (DI FELICE, 2017, p. 48 e 55).

A terceira ecologia comunicativa apresenta uma perspectiva reticular entre os diversos entes de diferentes espécies e estende a arquitetura informativa de rede aos territórios ao integrar as "interações informatizadas que desenvolvem em Gaia e já não se limitam mais ao debate entre os sujeitos humanos" (DI FELICE, 2017, p. 55). Estamos alocados em uma dimensão conectiva digital entre redes inteligentes na qual o processo de digitalização é permeado e permite a troca e diálogos constantes de informação por meio da conexão dos dados e arquiteturas digitais interagentes que constroem múltiplas realidades. A conexão entre redes inteligentes é somente possível por meio de tecnologias robustas. Estamos agindo em uma rede de redes de dados inteligente - mais extensa e eficiente do que a humana -, em que novas realidades são mediadas por meio de dispositivos móveis, softwares e sensores que constituem o ambiente dinâmico que interagimos e na qual são formados diálogos entre entidades, dados e fluxos informativos (DI FELICE, 2020).

Nesse contexto, surge a *blockchain*, uma arquitetura digital interagente que, ao contemplar a dinâmica da nova ecologia organizativa e informativa que tem se formado, é capaz de construir múltiplas realidades e ecossistemas, e redefinir o papel e as interações dos humanos e não humanos.

3.5. As redes *blockchain*

A *blockchain* é uma arquitetura que permite a realização e registro de transações de valor - financeiras e não-financeiras - de forma distribuída, pública, compartilhada de forma a originar um livro-razão digital que armazena as informações e obtém histórico dos registros dessas transações em uma rede de computadores. Nessa dinâmica, a *blockchain* permite a criação de um banco de dados distribuído e rastreável. Portanto, pode-se dizer que a *blockchain*, em português "cadeia de blocos", é um registro virtual distribuído formado por uma cadeia de blocos conectados que armazenam dados e transações - que pode ser considerada como o tipo mais conhecido de registro distribuído, em inglês, *Distributed Ledger Technology* (DLT) (DAMADI; NAMJOO, 2021).

Cada transação realizada é verificada e validada pelos *nodes* (nós) da rede - nesse caso, os *nodes* são os computadores que agem como um ponto de comunicação da rede - e cada *node* conta com uma cópia do livro-razão - o que fortalece o sistema e o torna resistente a fraudes e ataques cibernéticos.

Quando alguma transação é validada, um bloco é adicionado na cadeia de blocos já existente e a transação é registrada nesse novo bloco. Após esse processo, a transação não pode ser mais alterada e excluída - o que faz com que a tecnologia seja segura e confiável. Esse funcionamento ocorre dessa maneira, pois cada bloco contém um registro do bloco anterior relacionado ao histórico das transações que é representado por um código algorítmico criptografado: o *hash* - responsável por criar a conexão entre os blocos. Quaisquer diferenças entre os blocos gerados e os blocos armazenados são detectáveis e provam uma alteração do primeiro bloco por meio da comparação entre o *hash* do bloco armazenado e o *hash* do bloco subsequente, pois os dados históricos de um bloco não podem ser alterados sem afetar o *hash* da cadeia. Assim, uma das características mais marcantes da *blockchain*, a imutabilidade, é consequência da lógica do *hash*, pois ao alterar os dados históricos de um bloco, a conexão da *hash* no bloco subsequente é quebrado e, consequentemente, qualquer alteração a um bloco histórico exige que todos os blocos subsequentes sejam atualizados (TAYLOR; STEENMANS; STEENMANS, 2020). Dessa forma, qualquer alteração em um bloco é facilmente detectável, pois os dados são armazenados permanentemente de forma a serem verificáveis e auditáveis (SWAN, 2015 apud TAYLOR; STEENMANS; STEENMANS, 2020)

- sem necessitar de uma base central de dados ou de uma autoridade que detenha esse controle.

Dessa forma, é criada uma cadeia imutável de transações. Devido às suas principais características e benefícios, como segurança, rastreabilidade e distribuição dos dados, o potencial da *blockchain* é reconhecida justamente por estar inserida em um contexto em que há a geração de uma grande quantidade de dados e, por esse motivo, a confiabilidade se torna um valor inquestionável.

Em 2008, *Satoshi Nakamoto* (pseudônimo), criou um *White Paper* sobre a criptomoeda *Bitcoin* e introduziu a arquitetura por trás da sua concepção: a *blockchain*. Apesar de ser comumente associada ao setor financeiro e à criação do *Bitcoin*, e ter enfrentado, inicialmente, ceticismo devido à sua complexidade, a *blockchain* e seus benefícios foram e têm sido reconhecidos e impulsionaram uma gama extensa de aplicações em diversos outros setores - além do financeiro - e instigado pesquisadores a explorar os potenciais de sua aplicabilidade (UPADHYAY et al., 2021).

A *blockchain* surgiu para que registros de transações pudessem ser irreversíveis - não podendo ser reescritos ou sequenciados sem serem identificados - e autenticados de forma confiável e segura por meio dos *nodes* ou partes-chave na rede com acesso a um sistema de informação distribuído dos registros (IANSITI; LAKHANI, 2017; MOLL; YIGITBASIOGLU, 2019 apud UPADHYAY et al., 2021), por meio de criptografia avançada e mecanismos de consenso⁷ distribuídos.

Nessa dinâmica, segundo (REVOREDO; MOURA, 2020), a *blockchain* também pode ser considerada como uma tecnologia digital de participação e uma arquitetura coletiva de registro distribuído – não centralizado -, que possibilita novas maneiras de transacionar valor e informações na *internet*, não apenas monetárias, mas de outros tipos, como obras de arte, por exemplo, de forma que as transações realizadas entre diferentes partes sejam registradas e atualizadas simultaneamente e em tempo real (IANSITI; LAKHANI, 2017 apud UPADHYAY et al., 2021). Essa arquitetura impacta as relações entre governos, organizações e cidadãos,

⁷ Há diversos mecanismos de consenso, mas os mais comuns são o *Proof-of-Work* (PoW), em português "prova de trabalho", e o *Proof-of-Stake* (PoS), em português "prova de participação". A depender do mecanismo de consenso, é definido um algoritmo a partir do qual os *nodes* (nós, em português), que são os computadores da rede *blockchain*, realizarão a validação das transações que passarem pela rede e criaráo um novo bloco. Sendo assim, o mecanismo de consenso pode ser considerado como o conjunto de regras que os nós utilizam para validar um novo bloco e assegurar que os registros sejam verdadeiros (CHAVES, 2022).

porque tem como aspecto fundamental a descentralização, principalmente como medida de segurança. Com a *blockchain*, as transações de valor na *internet* não têm a necessidade de passar por validadores e intermediários tradicionais de confiança, como organizações, bancos e governos. Dessa forma, a plataforma reduz o poder dos validadores intermediários e permite a interação direta entre as pessoas, o que faz com que ocorra uma transferência de poder para cidadãos (REVOREDO; MOURA, 2020). A arquitetura permite o registro e armazenamento de informações em rede e de modo descentralizado, distribuído e compartilhado entre os participantes. Os próprios membros da rede são responsáveis pelo monitoramento e atualização das informações. Assim, nenhuma organização detém propriedade dos dados. Além disso, nenhum registro pode ser adicionado sem consenso entre participantes, o que cria uma confiança entre as partes (REVOREDO, T.; MOURA, I., 2020).

A tecnologia *blockchain* pode ser considerada como uma tecnologia fundacional (IANSITI; LAKHANI, 2017), disruptiva (JESSE, 2018; XU et al., 2019), e um protocolo revolucionário para o compartilhamento e atualização de dados por meio da ligação de registros ou bases de dados de uma forma descentralizada, com acesso aberto e em uma arquitetura de rede *peer-to-peer*, desenhada de forma que garante que os dados sejam armazenados e atualizados de forma segura, inviolável e irreversível (UPADHYAY et al., 2021). [Tradução nossa]

A *blockchain* ganha notoriedade devido às suas diversas funções e características tanto estruturais quanto estruturantes que possibilitam a acesso a informações imutáveis, a verificação do registro, das origens e envolvidos em transações, a transparência e a responsabilização de atos (TAYLOR; STEENMANS; STEENMANS, 2020).

A *blockchain* pode ser constituída por diversas estruturas que podem oferecer benefícios diferentes, pois elas podem ser privadas - quando pertencem ou são armazenadas por uma única entidade -, públicas - armazenada pelos usuários nos nós de uma rede -, permissionadas - quando apenas usuários autorizados poder ler ou escrever dados - ou não permissionadas - acessível para todos (TAYLOR; STEENMANS; STEENMANS, 2020).

Uma das características que torna a *blockchain* em uma arquitetura que torna o armazenamento e processamento de dados confiáveis, seguros e transparentes, é a sua arquitetura em *peer-to-peer* (P2P) (AHMAD et al., 2021). Essa característica assegura que as atualizações de dados em qualquer um dos registros interconectados entre pares (P2P) sejam visíveis e acessíveis a todos e é uma das responsáveis pela eliminação do papel centralizador e controlador de organizações específicas em relação ao acesso e registro das transações (UPADHYAY et al., 2021).

A *blockchain* ultrapassa um papel exclusivamente de "tecnologia" e gera novas perspectivas relacionadas às oportunidades e diferentes formas de criação e distribuição de valor (LENZ, 2021). Contudo, importante destacar que, para que esse potencial pudesse ser identificado, a tecnologia passou por um processo de evolução de três gerações, cada uma focada em melhorar as capacidades e endereçar limitações da geração anterior, o que possibilitou o surgimento de diferentes tipos de implementação da tecnologia (UPADHYAY et al., 2021):

- **Blockchain 1.0:** a primeira geração da arquitetura refere-se diretamente à criação do *Bitcoin*, a qual foi desenvolvida com um enfoque em transações financeiras realizadas com criptomoedas. A primeira geração de *blockchains* utilizam o mecanismo de consenso PoW (*proof-of-work*) para a validação das transações - um mecanismo criticado devido ao grande consumo de energia que demanda como consequência do poder computacional utilizado. Essa geração apresentou alguns limites relacionados à escalabilidade e velocidade das transações, o que representou uma barreira em sua aplicação em organizações;
- **Blockchain 2.0:** a segunda geração da *blockchain* gera novas possibilidades como os contratos inteligentes, em inglês *smart contracts*, que possibilitam a criação de contratos digitais, auto executáveis e programáveis, além de facilitarem a implementação da automação de transações (IANSITI; LAKHANI, 2017; MOLL; YIGITBASIOGLU, 2019 apud UPADHYAY et al., 2021) e execução de contratos complexos de forma verificável e permanente (IANSITI; LAKHANI, 2017 apud UPADHYAY et al., 2021), o que pode gerar eficiência operacional. A segunda geração também utiliza outros mecanismos de consenso, como o PoS (*proof-of-stake*), que

demandava menos poder computacional e consumo de energia do que a PoW. Um exemplo de *blockchain* da segunda geração foi a *Ethereum*, que possibilitou a automatização e registro de contratos inteligentes, ao mesmo tempo que exime intermediários do controle dessas transações (TAYLOR; STEENMANS; STEENMANS, 2020);

- **Blockchain 3.0:** a terceira geração ainda não apresenta uma definição concreta. Contudo, especialistas da área a consideram como a geração que tem como objetivo aprimorar questões como segurança, descentralização, custo-eficácia da arquitetura, e resolver questões relacionadas à escalabilidade, interoperabilidade e eficiência energética, além de expandir a sua aplicabilidade em outras indústrias e setores - além do escopo financeiro.

Mesmo que a arquitetura *blockchain* tenha sido desenvolvida e apresentada em 2008, os setores não-financeiros - e mesmo os financeiros - demoraram para identificar o seu potencial e perceber o seu valor e utilidades para, principalmente, a melhoria da eficiência de processos (UPADHYAY et al., 2021). Os princípios inerentes à *blockchain*, como a sua arquitetura *peer-to-peer* (P2P), a capacidade de armazenamento distribuído, do compartilhamento de informações, a segurança inviolável e o potencial de automação segura (UPADHYAY et al., 2021), foram algumas das razões que tornaram a *blockchain* atrativa para diferentes setores que enfrentam desafios complexos em suas operações. Assim, a possibilidade de implementar a tecnologia em diversas áreas e processos possibilitou a criação de um novo olhar para alguns dos desafios que as organizações e a sociedade enfrentam.

Assim, as *blockchains* passam a ser exploradas por diversos setores não-financeiros, como o setor da saúde, por exemplo. Uma das áreas que mais têm explorado o uso da *blockchain* e, por esse motivo, tem se destacado na produção acadêmica e em sua aplicação prática, é a gestão da cadeia de fornecedores. Gerir a cadeia de fornecimento requer o controle e a realização de um conjunto de ações extremamente complexas, pois há a necessidade de controlar e monitorar diversos processos, *stakeholders* e variáveis envolvidas a fim de assegurar a qualidade da matéria-prima, impedir o trabalho análogo à escravidão, os impactos negativos da produção e operação, por exemplo, ao mesmo tempo que deve cumprir diversos objetivos relacionados ao aumento da eficiência operacional e produtiva que visam a

redução do desperdício, a redução de custos e de tempo administrativo. Com a *blockchain*, essas cadeias poderiam ser geridas de forma facilitada e eficiente por possibilitar o registro dos principais dados e transações na *blockchain* durante o ciclo de vida de um produto, por exemplo, desde a fonte e extração da matéria-prima até o fabricante e o cliente. Ao possibilitar a interconexão entre os registros distribuídos, as bases de dados e as partes interessadas em toda a cadeia de fornecedores, a utilização da *blockchain* pode assegurar a qualidade do produto e uma produção mais limpa, além de possibilitar o aumento da eficiência operacional, gerando oportunidades de redução de custos e tempo.

Portanto, a *blockchain* passou a interessar diversas áreas, setores e indústrias por conseguir garantir a integridade, transparência e imutabilidade da informação - sem a necessidade de uma entidade controladora e centralizadora -; poder ser utilizada para compartilhar dados de forma eficaz, transparente e verificável; estar interligada e ser interoperável; ter a capacidade de detectar fraudes em tempo real; e, assim, prevenir e/ou minimizar fraudes (WANG; KOGAN, 2018 apud UPADHYAY et al., 2021).

Por basear-se em uma arquitetura descentralizada, a *blockchain* é altamente tolerante a falhas, robusta, confiável e segura (RANA et al., 2021 apud CASTIGLIONE et al., 2023) e, ao mesmo tempo, possibilita a escalabilidade e rapidez de registros, monitoramento e compartilhamento de informação. Segundo Castiglione (2023), a arquitetura assume um papel de facilitadora em processos complexos e cita autores de estudos relacionados à gestão cadeia de fornecedores, à Indústria 4.0, à gestão de resíduos, e destaca que pode ser utilizada de diversas formas a fim de apoiar o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, em inglês, *UN Sustainable Development Goals* (SDGs) (PARMENTOLA et al., 2021 apud CASTIGLIONE et al., 2023).

4. GESTÃO DE RESÍDUOS E A ARQUITETURA *BLOCKCHAIN*

Apesar das diferenças em escala e características, desde o início da existência de comunidades humanas, o ser humano gera resíduos. Como produtos provenientes das atividades humanas, os resíduos percorreram a evolução das estruturas sociais e acompanharam as mudanças socioeconômicas que impactaram as formas de geração, acúmulo e descarte de resíduos. Há 200 mil anos, havia a geração pouco expressiva de resíduos orgânicos e, apesar das primeiras ideias de saneamento básico terem surgido na Idade Antiga, na Idade Média - no mundo Ocidental -, os hábitos de higiene eram quase inexistentes e as estruturas de saneamento eram extremamente precárias. Contudo, ao longo dos séculos, a destinação de resíduos tornou-se cada vez mais importante no debate de infraestrutura das sociedades, pois passaram, cada vez mais, a impactar o entorno das cidades que começavam a ser formadas. Após a Era Medieval, o grande marco que representou e alavancou uma significativa mudança no rumo da relação entre a sociedade e os resíduos foram as Revoluções Industriais.

Grande parte da degradação e poluição ambiental tem a sua raiz na geração de resíduos - sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos. No mundo Ocidental pós-revoluções industriais, com a aceleração produtiva e em massa, passamos a produzir, consumir e descartar quantidades de resíduos nunca vistas antes, e, consequentemente, a prejudicar a qualidade de vida do ser humano e o equilíbrio do meio ambiente. Assim, o aumento significativo da geração de resíduos foi o resultado de dois processos estruturantes e paralelos: a industrialização e a consequente urbanização - quanto maior a quantidade de cidadãos-consumidores nas cidades, maior a geração de resíduos. Os efluentes liberados pelas indústrias, os resíduos gerados em processos produtivos, os resíduos pós-consumo e os efluentes domésticos, são alguns dos resíduos resultantes e constantes da atividade humana.

O desenvolvimento e diversificação da atividade industrial impactou diretamente na complexificação da composição e variedade de produtos, o que passou a dificultar a destinação correta após o seu uso e/ou descarte, pois a evolução mercadológica industrial não foi acompanhada pelo desenvolvimento, que foi retardatário, das práticas sustentáveis de produção, consumo e disposição. As velocidades desses dois processos foram e ainda são distintas.

As soluções relacionadas à disposição final de produtos não eram e ainda não são pensadas antes da produção de itens de consumo na etapa referente ao *design* - vide o caso dos AirPods⁸ da Apple que, propositalmente, foram desenhados de forma que a bateria se esgote em um tempo determinado⁹, os tornando descartáveis, irreparáveis e dificilmente recuperáveis, pois não há um programa ou processo de reciclagem, desmonte e reaproveitamento sustentável das substâncias e materiais integrantes do produto, tendo em vista que a sua reciclagem, que é parcial, é mais custosa do que o aproveitamento de recursos naturais constituintes do produto.

De acordo com um relatório da Plataforma para Aceleração da Economia Circular e da Coalizão das Nações Unidas sobre resíduos eletrônicos, menos de 20% dos resíduos eletrônicos são formalmente reciclados - sendo que os 80% restantes vão para aterros ou são reciclados de forma informal (PACE, 2019 apud UNEP, 2019). O relatório também aponta que os resíduos eletrônicos valem pelo menos 62,5 bilhões de dólares por ano, valor que representa mais do que o produto interno bruto (PIB) da maioria dos países.

O mercado global de resíduos e reciclagem foi avaliado em cerca de 55,1 bilhões de dólares americanos em 2020 e, em 2028, prevê-se que valha 90 bilhões (TISEO, 2022 apud BARALLA et al., 2023). Contudo, mesmo com um potencial econômico já calculado, o Banco Mundial estimou que apenas 19% dos resíduos são atualmente tratados para reciclagem e compostagem (KAZA et al., 2018 apud BARALLA et al., 2023)

Nesse contexto, não há como desassociar o aumento significativo da geração de resíduos do desenvolvimento da sociedade de consumo que, ao ansiar pelo consumo de produtos e das inovações tecnológicas, passou a consumir cada vez mais sem uma perspectiva do potencial impacto ambiental negativo futuro resultante do modo capitalista de viver. A relação entre o ser humano e a geração de resíduos se transformou concomitantemente à transformação da relação entre o ser humano e o consumo.

Uma vez que as áreas urbanas são as responsáveis pela maior geração de resíduos devido à sua concentração populacional, essas zonas também enfrentam problemas relacionados principalmente ao descarte, que, se realizado de forma irregular, pode acarretar

⁸ Para saber mais: <https://www.vice.com/en/article/neaz3d/airpods-are-a-tragedy>.

⁹ Os produtos eletroeletrônicos atuais - como celulares, computadores, geladeiras etc. - também contam com um tempo de vida útil pré-determinado, conhecido como obsolescência programada.

na proliferação de doenças infecciosas, pragas, mal-estar populacional, degradação ambiental e também no entupimento de meios de escoamento, o que favorece a ocorrência de enchentes. Essas problemáticas geram gastos públicos nas áreas da saúde, infraestrutura e demandas emergenciais das cidades. Para o tratamento de resíduos, surgem diversas formas de destinação - regulares e irregulares - como aterros sanitários, incineração, reciclagem e lixões. Cada alternativa apresenta vantagens e desvantagens, a desconsiderar os lixões que são inteiramente maléficos por causarem diversos problemas socioambientais.

Em virtude do que foi apresentado, é fundamental mencionar o impacto dos resíduos a nível transfronteiriço. Além de terem se tornado uma problemática em diversos governos nacionais, os resíduos conquistaram parte da agenda internacional também, pois há diversos países que exportam os seus resíduos, em sua maioria, para países em desenvolvimento, tendo em vista que custear essa operação é mais vantajoso economicamente do que providenciar o tratamento adequado dos resíduos no próprio país. De acordo com a *Last Beach Cleanup*, desde o início do ano de 2021 até outubro do mesmo ano, e considerando os dados disponíveis, os Estados Unidos enviaram mais de 89.824 toneladas de resíduos plásticos para alguns países da América Latina - como Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Equador, entre outros -, sendo que parte recebeu o dobro da quantidade que havia recebido em 2020 (LIMA, 2022) - assim, nota-se uma crescente tendência de aumento na quantidade de resíduos plásticos recebidos por esses países. O destino principal das exportações de resíduos plásticos é o México, que recebeu, entre janeiro a outubro de 2021, cerca de 57 (cinquenta e sete) contêineres diariamente, o equivalente a 60.503 toneladas anuais (LIMA, 2022). Sendo assim, é fundamental avaliar os sistemas complexos relacionados às importações e exportações de resíduos que, embora sejam frequentemente ilegais, refletem uma realidade que afeta principalmente os países em desenvolvimento.

Em seu site, a CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, aborda e descreve algumas dessas agendas internacionais, como a Convenção de Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito - concluída em 1989 e que teve como objetivo reduzir a movimentação comercial transfronteiriça de resíduos perigosos e estabelecer mecanismos internacionais e normas de controle relacionadas às movimentações e gerenciamento de materiais nocivos - e a Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes - realizada em 2021 com objetivo de banir e restringir o uso de substâncias químicas classificadas como Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs). Outras

duas convenções foram a Convenção de Roterdã sobre o Procedimento de Consentimento Prévio (PIC) Informado Aplicado a Certos Agrotóxicos e Substâncias Químicas Perigosas Objeto de Comércio Internacional e a Convenção de Minamata sobre Mercúrios.

Essa conjuntura afeta intensamente a dimensão social, pois há diversas populações expostas às condições degradantes dessa crise global, principalmente em países em desenvolvimento. Uma das frentes relacionadas ao impacto social da geração de resíduos refere-se aos trabalhadores informais do setor. Frequentemente, por dependerem economicamente da coleta de resíduos, os catadores - de lixões ou não - se submetem a condições extremamente precárias. Portanto, é necessário realizar uma análise sob uma perspectiva social e econômica com o objetivo de promover uma transição inclusiva desses trabalhadores, pois apesar de serem fundamentais para a reciclagem e gestão de resíduos, são desvalorizados e marginalizados pelos grandes *players* do setor. Essa demanda humanitária urgente em relação à vida das pessoas dependentes da coleta informal dos resíduos demonstra a necessidade de uma reformulação do trabalho informal e a realocação desses trabalhadores. Em resumo, a economia e a valorização da vida e do meio ambiente devem estar intrinsecamente correlacionadas a fim de gerar transformações positivas no setor.

Tendo em vista o cenário apresentado, se torna cada vez mais claro que a percepção relacionada à produção e ao consumo de produtos e à geração de resíduos deve ser transformada a fim de nos afastarmos do modelo insustentável que ainda predomina. A geração de resíduos não é somente uma consequência da atividade industrial, mas também das ações e comportamentos individuais. Por esse motivo, a gestão de resíduos deve contemplar todas as partes envolvidas, desde os geradores - empresas e indivíduos -, os responsáveis pelas coletas e transportes de resíduos, até as estações de tratamento.

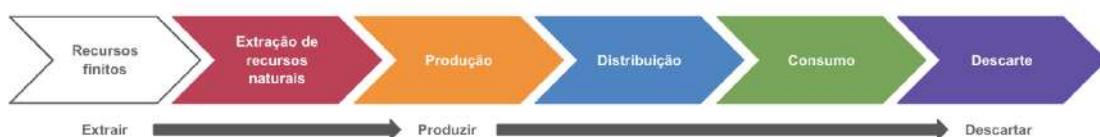
A reflexão seguinte foca na geração dos resíduos decorrentes de processos produtivos em cadeias de produção e pós-consumo atuais, não levando em consideração as questões já levantadas anteriormente relacionadas à necessidade de repensar o desenho, a ideação e o *design* de embalagens, produtos e serviços.

4.1. A economia circular

Estamos na década da Restauração dos Ecossistemas (2020 - 2030). É preocupante refletir sobre a necessidade de restauração da biosfera, pois a necessidade de restaurar surge apenas a partir da destruição e/ou perda de algo. Em outubro de 2020, foi publicado na revista *Nature* um estudo que destaca que a recuperação de 15% dos ecossistemas de áreas prioritárias do planeta seria capaz de absorver o equivalente a 14% do total de emissões de GEE acumuladas na atmosfera nos últimos 200 anos – o equivalente a 299 gigatoneladas de CO₂ – além de evitar 60% das extinções previstas. Além de dar visibilidade ao tema, a década deveria impactar a percepção da nossa relação com o "meio ambiente": não devemos continuar o destruindo e restaurando-o, mas sim evitar a sua destruição com medidas de preservação, conservação, mitigação e de desenvolvimento e aplicação de mudanças estruturais dos nossos modos de viver.

O modelo econômico que molda as nossas vidas ainda é um modelo linear em que desenvolvemos e vivemos uma relação limitada com produtos e bens: os compramos, usamos e, quando deixam de ser "úteis", os descartamos - ou, como mais falamos, os "jogamos fora". Apesar do consumo desenfreado ser um grande tópico de discussão, não podemos esquecer que, antes de consumirmos, há inúmeras indústrias que operam em cadeias de abastecimento complexas que se utilizam de recursos finitos e perigosos provenientes do Planeta Terra para transformá-los em produtos, em um processo predominantemente poluente. Muitos desses produtos são descartáveis, cuja concepção - ideia e *design* - não leva em consideração o seu impacto na biosfera e na saúde da população e dos diferentes tipos de vida do Planeta Terra.

FIGURA 2 - Modelo Econômico Linear



Fonte: Produção autoral.

Assim, vale ressaltar que o problema não está apenas no descarte do produto, mas em sua produção, antes de chegar às nossas casas.

A nossa economia linear ‘take-make-waste’ (em português, "extrair-produzir-descartar") é fortemente extractiva, consome muitos recursos naturais e emite grandes quantidades de Gases de Efeito Estufa (GEE) que contribuem para a crise climática. As empresas extraem materiais da terra, aplicam energia e trabalho para fabricar um produto e o vendem a um usuário final, que depois o descarta quando já não serve mais o seu propósito. Esta abordagem linear, que depende dos combustíveis fósseis e não gere recursos ambientais como a terra, a água e os minerais a longo prazo, emite GEEs que estão causando uma crise climática global. (THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021) [Tradução nossa]

Uma das possíveis soluções para evitarmos continuar em uma lógica de "extrair-produzir-descartar" seria a transformação desse modelo econômico linear para uma economia ecológica.

A comumente chamada "Economia Circular" é considerada um modelo de produção e consumo em que os produtos e materiais regressam ao ciclo econômico produtivo a fim de permanecerem em utilização, ao serem reconsiderados como matéria-prima. O que antes poderia ser classificado como resíduo deixa de ser "inutilizável", se torna um recurso com valor agregado e passa a gerar um outro tipo de valor como matéria-prima. A partir dessa nova visão, entre muitos desafios, a "Economia Circular" inaugura uma grande mudança: reduzir o máximo possível de resíduos produzidos.

Os sistemas "circulares" funcionam como circuitos fechados e permitem a utilização e reutilização contínua de recursos. A utilização de matérias-primas e energia de fontes não renováveis é minimizada e eliminada. Em sua essência, isto significa que uma economia circular dissocia o crescimento econômico do consumo de recursos. De acordo com a Fundação Ellen MacArthur, a "Economia Circular" baseia-se em três pilares:

1. Redução dos resíduos e da poluição

Todos os impactos negativos das atividades econômicas prejudiciais à saúde humana e aos sistemas naturais, como as emissões de gases de efeito de estufa (GEE), a emissão de substâncias perigosas e a poluição do ar, do solo e da água, são identificados e reduzidos;

2. Utilização de produtos e materiais já usados e/ou descartados

A "Economia Circular" enfatiza soluções que seguem uma concepção ecológica de durabilidade, reutilização, refabricação e reciclagem para manter produtos, componentes e materiais no ciclo econômico a fim de preservar o seu valor - como por exemplo, a prática do *upcycling*. Assim, quando um produto chega ao "fim da sua vida útil", os seus materiais voltam a gerar valor por retornarem ao ciclo como possível e podem ser utilizados de forma produtiva novamente, como um recurso e/ou matéria-prima. Um exemplo é a reutilização de resíduos como matérias-primas valiosas nos processos de produção ou, por exemplo, por meio do desmonte de computadores e celulares com o objetivo de assegurar o aproveitamento máximo dos componentes - químicos ou não - desses equipamentos eletrônicos. Assim, a "Economia Circular" envolve a priorização do compartilhamento, aluguel, reutilização, reparação, renovação e reciclagem de materiais e de produtos existentes durante o máximo de tempo possível. Em relação aos materiais de base biológica, à medida em que circulam entre a economia e os sistemas naturais, os sistemas "circulares" visam promover, de forma eficaz, diversas utilizações para os mesmos;

3. Regeneração dos sistemas naturais

Ao evitar a utilização de recursos não-renováveis e preservar ou melhorar os recursos renováveis, a "Economia Circular" foi concebida, desde o início, com o objetivo de restaurar e regenerar, por exemplo, ao devolver nutrientes valiosos ao solo para apoiar

a regeneração de sistemas naturais ou utilizar energia renovável ao invés de depender de combustíveis fósseis.

FIGURA 3 - Modelo Econômico Circular

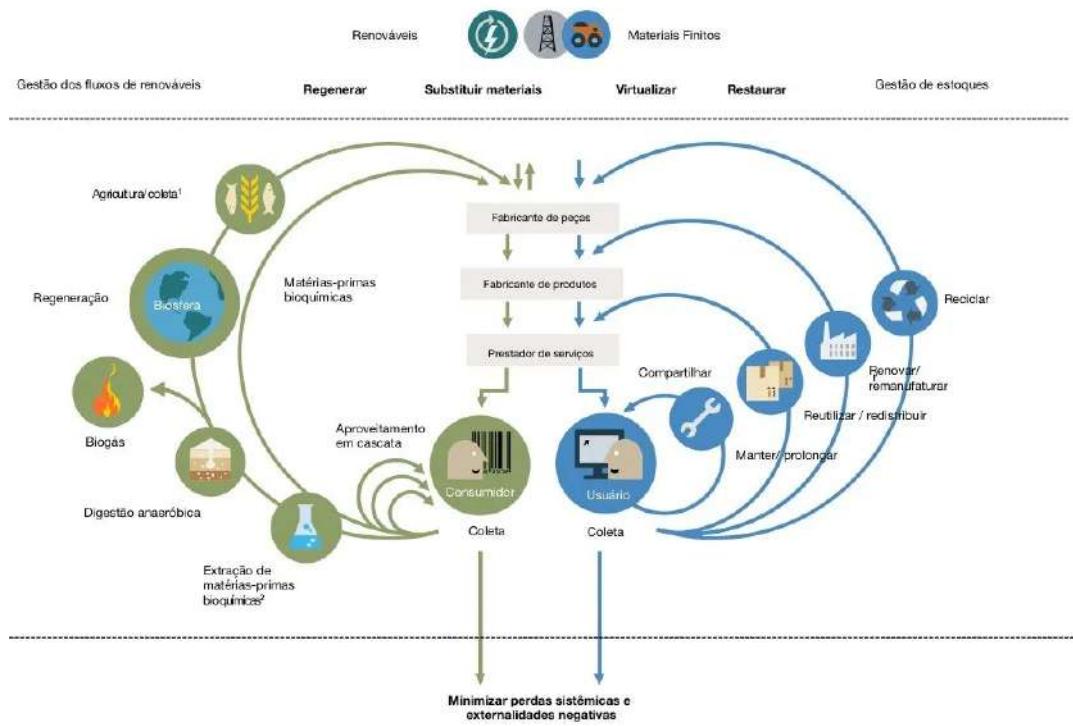


Fonte: Mais Polímeros (2020)¹⁰.

E se os resíduos e a poluição não fossem criados em primeiro lugar? E se pudéssemos construir uma economia que prolongasse o ciclo de vida dos produtos? E se pudéssemos não apenas proteger o meio ambiente, mas também melhorá-lo ativamente? Essas dúvidas direcionam a ideia do que seria a transformação de um padrão "produzir-consumir-descartar" para uma economia reparadora e regenerativa. A "Economia Circular" apoia os processos naturais e deixa mais espaço para a biosfera prosperar. A Fundação Ellen MacArthur desenvolveu o "diagrama da borboleta" que tem como objetivo chegar à essência da "Economia Circular":

¹⁰ Disponível em: <https://maispolimeros.com.br/2020/01/16/economia-circular-parte-1/>

FIGURA 4 - Diagrama de Borboleta

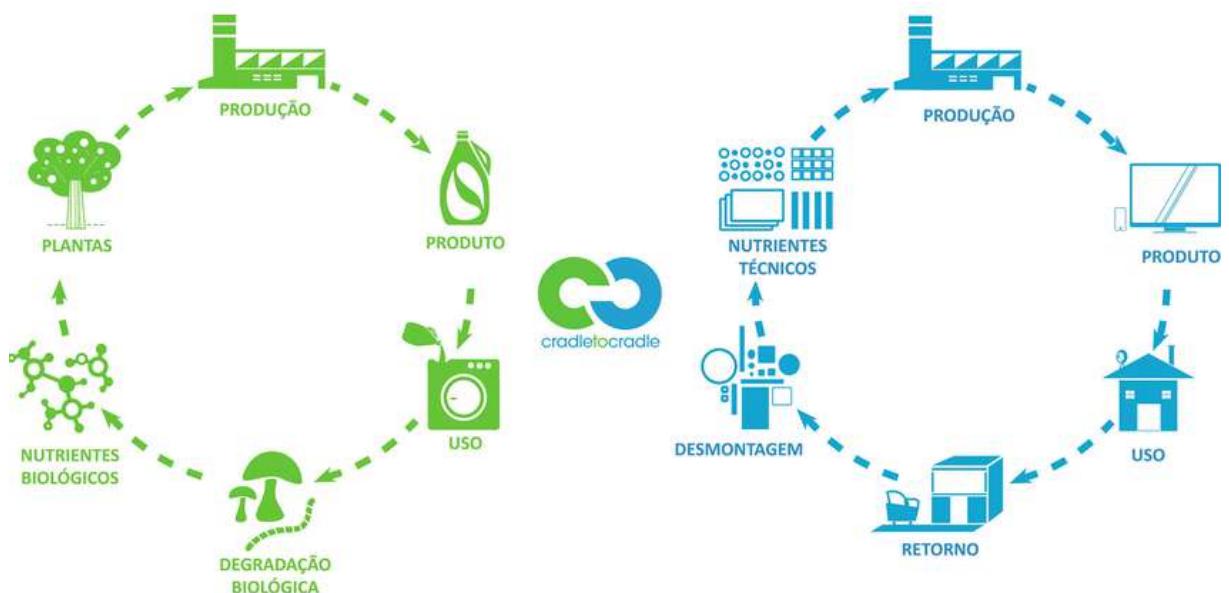


1 Caça e pesca
2 Pode aproveitar tanto resíduos pós-colheita como pós-consumo como insumos
FONTE: Growth Within (2015) - Ellen MacArthur Foundation; Stiftungsfonds für Umweltökonomie und Nachhaltigkeit (SUN); McKinsey Center for Business and Environment; Drawing from Braungart & McDonough Cradle to Cradle (C2C)

Fonte: Jornal da USP (2016).

O diagrama demonstra o fluxo de materiais, nutrientes, componentes e produtos, por meio da separação em dois ciclos que representam dois fluxos de materiais diferentes: o biológico e o técnico. Os materiais biológicos (ao lado esquerdo) podem regressar em segurança à biosfera depois de terem sido utilizados, por poderem se biodegradar ao longo do tempo e devolver os nutrientes que contêm para o ambiente. Os materiais técnicos (ao lado direito), já não podem regressar ao meio ambiente de forma direta. Estes materiais, como os metais, os plásticos e os produtos químicos sintéticos, devem passar, continuamente, por processos do sistema - como reciclagem, remanufatura etc. - para que o seu valor possa ser captado e recuperado. Essa perspectiva está alinhada à ideia *cradle-to-cradle* (C2C), em português, "do berço-ao-berço":

FIGURA 5 - Ciclos biológico e técnico baseados na ideia *cradle-to-cradle* (C2C)



Fonte: Barauna, 2017¹¹.

Ao transformar a economia linear em uma "Economia Circular", o foco na extração muda para a regeneração dos sistemas naturais. Em vez de destruirmos continuamente a biosfera, construímos capital natural. Por exemplo, são adotadas práticas agrícolas que permitem à biosfera reconstruir os solos, aumentar a biodiversidade e devolver materiais biológicos à terra. Atualmente, a maior parte destes materiais é perdida após a sua utilização e as terras de cultivo estão esgotadas em nutrientes..

Nesse contexto, surge a "Economia Regenerativa", um sistema econômico concebido com o objetivo de regenerar os recursos e encontrar um equilíbrio na biocapacidade da Terra, contrariamente ao esgotamento de recursos naturais e ao consumo exacerbado. A Economia Regenerativa é guiada por 5 princípios.

1. Uso mínimo e máxima recuperação e valorização de recursos;
2. Independência da extração de recursos naturais;

¹¹ Disponível em:
https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Ciclos-biologico-e-tecnico-da-Teoria-Cradle-to-CradleR-Fonte-Adaptado-da-C2C_fig3_322510886

3. Promoção da interação entre atores e do desenvolvimento de uma economia local - a fim de melhorar a resiliência de uma área e a sua capacidade de resposta às crises, tendo em vista que, quanto mais dinâmica for uma zona com soluções locais, mais conhecimentos especializados estarão disponíveis;
4. Condução pela cooperação e não pela concorrência - afinal, a colaboração entre os atores promove uma inteligência coletiva horizontal onde todos são considerados nas tomadas de decisões e têm o seu valor, uma dinâmica que permite uma melhor difusão da informação e proporciona uma melhor adaptação a um ambiente complexo e instável;
5. Promoção da vida em detrimento de práticas e processos destrutivos para o meio ambiente - por exemplo, por meio do desenvolvimento de produtos ou serviços que sequestram o carbono, regeneram os solos e a biodiversidade e melhoram a qualidade do ar e da água.

A "Economia Regenerativa" também se inspira em soluções baseadas na natureza, em inglês *Nature-based Solutions* (NbS), de ecossistemas vivos. A recuperação de solos vivos em regeneração maciça, por exemplo, não apenas reduziria as nossas emissões a nível global, como também sequestraria quantidades consideráveis de carbono, regeneraria a biodiversidade e seria benéfico economicamente. Ainda assim, na nossa economia global, em que mais de 100 mil milhões de toneladas de materiais são inseridos na economia mundial todos os anos, apenas 8,6% são "circulares". O questionamento que pode ser levantado é o seguinte: por qual motivo essas abordagens não são exploradas e implementadasativamente, quando existem oportunidades claras?

A transição de uma economia linear para uma "Economia Circular" requer soluções sistêmicas que considerem a interconexão dos desafios complexos e a interdependência das soluções. A transição deve ser baseada na reestruturação de modelos de negócios, da concepção e *design* de produtos e serviços, dos direcionamentos legais e legislativos, do planejamento urbano, das práticas agrícolas, da extração de materiais, dos processos produtivos de manufatura e fabricação, entre muitas outras frentes que, hoje, são desconectadas e distantes de uma perspectiva "circular". No entanto, é importante considerar que alterar apenas um elemento do sistema existente e aguardar pela transformação necessária

não é suficiente. Pelo contrário, devemos aprender a compreender como os sistemas complexos funcionam, pois o entendimento do problema é o primeiro passo para criar melhores soluções.

Além da sustentabilidade ambiental, a "Economia Circular" centra-se na responsabilidade social, para além do crescimento econômico e gera diversos benefícios socioambientais e a nível de todo o sistema. O *World Resources Institute* (WRI) delineou 5 oportunidades de uma "Economia Circular":

1. Melhor utilização dos recursos finitos

Uma melhor utilização dos recursos naturais das florestas, do solo, da água, dos metais e dos minerais, é essencial para a "Economia Circular". Nos últimos 50 (cinquenta) anos, o consumo global de materiais triplicou, passando de 26,7 mil milhões de toneladas em 1970 para 92 mil milhões de toneladas em 2017. O Painel Internacional de Recursos (IRP) prevê que o consumo de materiais atinja 170 a 184 mil milhões de toneladas até 2050, duplicando em três décadas. Curiosamente, a extração e transformação de recursos naturais é responsável por mais de 90% (noventa por cento) da perda global de biodiversidade e dos impactos do estresse hídrico, bem como por cerca de metade das emissões globais de Gases de Efeito Estufa (GEE);

2. Redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE)

Embora o discurso para enfrentar a crise climática tenha se centrado na mudança para as energias renováveis, não tem havido muitas discussões sobre os 45% (quarenta e cinco por cento) das emissões de Gases Efeito Estufa (GEE) geradas na produção de automóveis, vestuário, alimentos e outros produtos. Para atingir os objetivos climáticos, também devemos nos concentrar nesse aspecto. Um documento da *Fundação Ellen MacArthur* indica que a aplicação de estratégias de "Economia Circular" poderia ajudar a reduzir as emissões em pelo menos 40% (quarenta por cento) até 2050, aproximando as emissões destes setores em 45% (quarenta e cinco por cento) dos seus objetivos de Net Zero;

3. Proteção da saúde humana e da biodiversidade

Os resíduos eletrônicos (*e-waste*) são mal geridos e acabam sendo destinados em locais inapropriados ou eliminados por meio de queima a céu aberto, aterros sanitários ou reciclagem de baixa qualidade. Essa ineficiência impacta diretamente e negativamente os recursos hídricos - os lençóis freáticos, por exemplo - e o solo. Além disso, o tratamento adequado dos produtos no fim da sua vida útil poderia, possivelmente, reduzir os custos das organizações com materiais finitos e custosos, como o ouro. A indústria ainda se beneficia da obsolescência programada, mas a concepção de produtos que poderiam ser utilizados durante mais tempo reduziria a geração desse tipo de resíduo. Além disso, a criação de sistemas adequados de coleta e tratamento reduziria os riscos enfrentados pelos trabalhadores informais que entram em contato direto com substâncias e materiais perigosos;

4. Impulsionamento das economias

Os modelos empresariais baseados na "Economia Circular" podem minimizar as entradas e saídas de materiais do sistema econômico e desempenhar um papel essencial no aproveitamento dos recursos e capacidades do setor privado para a transição para um "desenvolvimento econômico mais sustentável". A pesquisa da *Accenture Strategy* apresentada no livro *Waste to Wealth*, indica que a "Economia Circular" poderá gerar mais 4,5 bilhões de dólares relacionados à produção até 2030. Os modelos empresariais da "Economia Circular" que adotam uma abordagem diferente ajudarão a dissociar o crescimento econômico do consumo de recursos naturais, aumentando simultaneamente a competitividade;

5. Criação de mais e melhores empregos

Podem ser criados 6 (seis) milhões de postos de trabalho por meio da transição para uma "Economia Circular" que inclua atividades como a reciclagem, a reparação, o aluguel e a refabricação, ao substituir o modelo econômico tradicional de extrair, fabricar, utilizar e eliminar.

Por conseguinte, a "Economia Circular" é um contributo importante para alcançar objetivos climáticos globais. Assim, as empresas se beneficiariam significativamente se alinhassem as suas operações com os seus princípios. Estes benefícios incluem a criação de novas oportunidades de receita, promoção da inovação, redução de custos devido a uma menor necessidade de extração de novos recursos naturais, melhoria da segurança das cadeias de fornecimento de matérias-primas, aumento da competitividade, além de ganhos intangíveis como reputação e construção de confiança com clientes. Ao mesmo tempo que as organizações se beneficiam com a transição para uma economia mais "circular", o meio ambiente e a sociedade também são impactados positivamente pela consequente redução do impacto ambiental, estímulo do crescimento econômico e criação de empregos.

Apesar do termo *Economia Circular* ter ganhado notoriedade no mercado e na produção científica nos últimos anos, e o seu conceito ter sido apresentado acima - a fim de seguir com as contribuições das referências -, o termo não é exato e condizente com a realidade e, por isso, deveria ser substituído por *Economia Ecológica*. A ideia de "circularidade" está atrelada inevitavelmente à geração de resíduos e não leva em conta a entropia dos processos econômicos. Afinal, não existe uma "circularidade" em plenitude nos processos - na melhor das hipóteses, a *Economia Ecológica* seria "a espiral" -, pois qualquer ciclo produtivo é impactante de alguma forma - não existe impacto zero e, portanto, não há como haver um "fechamento completo e circular do ciclo". O próprio princípio relacionado à entropia da biosfera, de Lovelock, não considera a circularidade, pois a lógica da vida é existir um começo, um processo e um fim. Dessa forma, há mais coerência em apresentar o termo *Economia Ecológica*, ao invés de *Economia Circular*. Por esse motivo, a seguir - no presente texto -, mesmo que acompanhe princípios e ideias da *Economia Circular*, o termo foi substituído por *Economia Ecológica*, considerada com uma nova vertente econômica:

É importante estabelecer claramente os limites de uso dos recursos, da capacidade de suporte do meio, da capacidade de absorção dos resíduos e, a partir disso, estabelecer a atividade econômica e, principalmente, pensar numa distribuição equitativa e justa das riquezas geradas atualmente e para as gerações futuras (SINESGALLI, 2023).

Segundo Sinesgalli (2023), a *Economia Ecológica* destaca a existência de limites biofísicos - não somente relacionado ao uso de recursos naturais pela economia, mas também

referente à destinação de resíduos - que devem ser considerados e analisados antecendentemente às atividades econômicas, e aponta que o autor do livro *A Entropia e o Processo Econômico*, Nicholas Georgescu-Roegen, é um dos principais economistas ecológicos e pode ser considerado o fundador dessa vertente que se baseia nas interrelações entre a economia (a produção) e os limites biofísicos - ou termodinâmicos - decorrentes das atividades econômicas e produtivas no mundo. O especialista destaca que uma das dificuldades principais da *Economia Ecológica* é inverter a lógica das atividades econômicas, os valores e a visão predominante do mundo que considera que o mercado pode solucionar as questões ambientais e encontrar modelos consistentes e que mostrem como as interações ruins entre economia e ecologia podem levar a situações críticas, caso não sejam revertidas. Segundo essa vertente, o desenvolvimento econômico não dependeria do quanto é explorado, mas como e se há respeito aos limites biológicos, físicos e químicos da natureza. O conceito não para no quanto se pode explorar, mas também envolve o quanto se pode poluir.

4.2. A *Economia Ecológica* e a geração de resíduos

Ao impulsionar uma nova visão relacionada aos processos de produção e consumo, os resíduos e, consequentemente, a gestão de resíduos, tornam-se componentes essenciais da *Economia Ecológica*, pois é por meio de uma gestão eficiente de resíduos que seus princípios são concretizados. Apesar de um dos princípios da *Economia Ecológica* ser a geração mínima possível de resíduos, as diversas atividades humanas, como os processos produtivos, ainda geram toneladas de resíduos por dia. Assim, enquanto a lógica socioeconômica não acompanha estritamente os princípios da *Economia Ecológica*, as outras premissas relacionadas à perspectiva da *Economia Ecológica* a espiral devem ser seguidas.

Dessa forma, para a concretização dos princípios da *Economia Ecológica*, o rastreio dos resíduos - de todos os tipos: industriais, urbanos etc. -, desde a sua origem, é essencial, pois é desta forma que é possível identificar o histórico e as práticas da organização em relação à extração de matérias-primas, sua produção e eficiência em sua destinação - para que foquemos na redução de resíduos destinados incorretamente - , por exemplo, ou, no caso dos Municípios, é possível diagnosticar a eficiência dos serviços públicos.

A concretização da *Economia Ecológica* representa, além do enfrentamento da gestão insustentável dos resíduos, um avanço na resolução de outros desafios e problemas concomitantes como a escassez e limite de recursos naturais. Por esse motivo, a pauta da *Economia Ecológica*¹² já é considerada como um instrumento estratégico político relevante, e é contemplada, por exemplo, em leis adotadas na China, França, Japão, Espanha e Coreia do Sul, e inclusa em propostas no México e no Uruguai (TAYLOR; STEENMANS; STEENMANS, 2020). O movimento e a transição para a *Economia Ecológica* é local, mas também global. Mais especificamente sobre a gestão de resíduos, políticas públicas relacionadas foram recentemente priorizadas pela União europeia, e estão inclusas no *New Horizon Europe work plan* (CASTIGLIONE et al., 2023).

Com a crescente preocupação global em relação à destinação e estágios finais "das vidas" dos resíduos, em inglês, *End-of-Life* (EoL) - como a potencial recuperação de energia e reciclagem -, surge a necessidade de melhorar a transparência dos sistemas de gestão de resíduos. Nesse sentido, para suprir essa necessidade e endereçar as questões relacionadas ao ciclo de vida dos produtos, como a rastreabilidade, as tecnologias que podem performar como instrumentos¹³ de apoio ganham relevância (GOPALAKRISHNAN et al., 2020).

Nesse caminho, há muitos obstáculos a serem ultrapassados. Um desafio assinalado por alguns pesquisadores é o fato de fornecedores e concorrentes encararem com desconfiança o interesse das empresas no compartilhamento de informações. Além disso, existe uma relutância em criar cadeias de abastecimento totalmente transparentes, o que poderia exigir que as empresas divulgassem informações sensíveis. No entanto, esta é uma mudança que tem que acontecer.

Nesse momento, podemos destacar que essa seria uma oportunidade que poderia ser aproveitada pela arquitetura *blockchain* por oferecer e possibilitar o aumento do valor das organizações, dos seus produtos e serviços por conseguir certificar o percurso do seu produto - desde a sua produção. É importante lembrar que a tecnologia pode ir além do rastreio de produtos e tornar as informações e a cadeia de suprimentos mais transparentes. Como na *Economia Ecológica* todos os fluxos se baseiam na criação de valor - ambiental, social e

¹² Apesar de destacar o termo *Economia Ecológica* no presente texto, os países ainda utilizam o termo *Economia Circular* em sua legislação e políticas públicas.

¹³ Ainda que diversos autores considerem as tecnologias como instrumentos e essa ideia seja apontada ao longo da análise, o presente trabalho tem como objetivo desconectar a ideia ferramental da arquitetura *blockchain* e a destacar como a responsável pela criação de um novo ecossistema entre humanos e não humanos, um direcionamento abordado em outras seções do texto.

econômico - o alinhamento à *blockchain*, que cria uma forma totalmente nova de trocar valor e interligar cada troca de valor, é potencialmente transformadora.

A *blockchain* se insere em um contexto da Indústria 4.0, um conceito de indústria que, em sua concepção, destaca o papel transformador das tecnologias avançadas, não somente de informação - relacionadas ao *big data*, por exemplo -, mas de outras frentes, como automação. Como a *Economia Ecológica* busca processos produtivos mais limpos, a adoção de tecnologia renovável e desenvolvimento de políticas públicas e tecnologias apropriadas (GHISELLINI et al., 2016 apud UPADHYAY et al., 2021) na Indústria 4.0 pode ser uma grande aliada no avanço tecnológico que, no princípio, já considere o desenvolvimento de modelos econômicos e de produção mais sustentáveis, a espiral e regenerativos.

Como abordado anteriormente, a *Economia Ecológica* é um modelo de produção e consumo que envolve o desenvolvimento de uma nova perspectiva sobre, principalmente, a destinação dos resíduos e fluxos de recursos, e dá relevância para a possibilidade de compartilhamento, recuperação e reutilização de produtos e materiais durante o maior tempo possível, ao invés de serem enviados para aterros ou incinerados (KIRCHERR et al. 2017 apud TAYLOR; STEENMANS; STEENMANS, 2020). Em uma *Economia Ecológica*, há um processo de valoração, pois os resíduos gerados por uma atividade podem se transformar em novos recursos para operações de posteriores e/ou de outras organizações - assim, os resíduos se tornam matérias-primas e adquirem um novo valor nas cadeias de produção.

Como os resíduos representam o principal "produto", efeito e consequência da produção e consumo, existe uma preocupação a nível global crescente com a *Economia Linear*, um modelo econômico limitante, que é enfrentado pelo sistema econômico "a espiral" que visa enfrentar e superar as questões críticas e as limitações dos modelos lineares existentes.

As indústrias pesadas - como a siderúrgica, metalúrgica etc. - geram quantidades consideráveis de resíduos sob a forma de resíduos de materiais e produtos inacabados. Para avançar com as operações "a espiral", as empresas devem procurar retornar estes materiais para os fluxos de produção. Para o modelo de *Economia Ecológica*, a rastreabilidade completa dos materiais em cada fase do processo produtivo, desde a sua origem até a sua utilização e destinação é crucial para proporcionar um modelo de produção e consumo que

visa reduzir os resíduos enviados para aterro, por exemplo, bem como a adoção de novos métodos de redução de resíduos na própria operação e processos de fabricação (BARALLA et al., 2023).

Além da gestão de resíduos inerente a operações industriais, há a gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU). Segundo o Banco Mundial¹⁴ (2022), em inglês, *The World Bank*, os índices de geração de resíduos estão aumentando gradativamente - estima-se que, em 2020, o mundo tenha gerado 2,24 bilhões de toneladas de resíduos sólidos e espera-se atingir, em 2050, 3,88 bilhões de toneladas, o que representa um aumento de 73% da atual geração estimada de resíduos. Os países com menor poder econômico têm mais de 90% dos resíduos destinados em locais irregulares ou queimados a céu aberto.

Em resumo, a gestão de resíduos inclui atividades de coleta, transporte e destinação. É fundamental que exista uma forte cooperação e coordenação entre todas as partes envolvidas no processo de coleta, transporte e destinação de resíduos, sendo essas partes (1) os cidadãos que consomem e produzem resíduos, (2) as organizações - e/ou pessoas - responsáveis pela coleta, transporte e destinação, e (3) o poder público que deve fiscalizar a legalidade das atividades entre os entes. Essa dinâmica complexa que se forma em rede requer que as partes interessadas e suas ações sejam rastreadas a fim de gerar transparência operacional (SAHOO; MUKHERJEE; HALDER, 2021 apud AHMAD et al., 2021).

Como comentado anteriormente, a arquitetura *blockchain* ganhou notoriedade a partir da sua potencial aplicação em diversos setores devido à sua estrutura que permite o rastreio e o desenvolvimento de sistemas seguros, interligados, interconectados e distribuídos que facilitam a implementação da IoT em operações em diversas frentes. Como o objetivo da *Economia Ecológica* é a minimização ou eliminação da geração de resíduos, a *blockchain* pode contribuir no embasamento de planos de ações de forma precisa devido à possibilidade de conexão entre redes e bases de dados complexas e sua atualização, de forma irreversível e automatizada (UPADHYAY et al., 2021).

Assim, a contribuição da *blockchain* para a *Economia Ecológica* se baseia em suas características como descentralização, distributividade, segurança, confidencialidade e confiabilidade dos dados - devido à sua resistência à adulteração -, além da possibilidade de redução de custos de transação (referentes a diversas operações, como contratação de

¹⁴ Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>

fornecedores, por exemplo) e melhoria da comunicação entre os entes da cadeia (UPADHYAY et al., 2021). Assim, pode-se considerar a *blockchain* como uma nova ecologia de coordenação, pois esta apoia a conexão e coordenação entre as diversas bases de dados distribuídas (SWAN, 2015 apud TAYLOR; STEENMANS; STEENMANS, 2020), acessíveis a todas as partes e que podem ser atualizadas simultaneamente.

A *blockchain* possibilita a criação de um novo ecossistema a partir da estruturação de novos modelos de negócio que facilitam a criação e circulação de valor de produtos e serviços, de forma descentralizada. Além disso, no cenário relacionado às práticas emergentes na governança dos plásticos, alguns estudos exploraram a utilização da *blockchain* para o aprimoramento da reciclagem dos produtos de plástico na fabricação e na gestão do ciclo de vida dos produtos (PATIL et al., 2020; SANDHIYA; RAMAKRISHMA, 2020; KHADKE et al., 2021; LIU et al., 2021 apud TAYLOR; STEENMANS; STEENMANS, 2020).

Segundo Ahmad et al. (2021), outras características da *blockchain* que podem apoiar a concretização da *Economia Ecológica* é a possibilidade de aplicar contratos inteligentes, a tokenização de benefícios - que poderia incentivar os participantes a compartilharem dados relacionados à geração e destinação de resíduos, por exemplo, ou a tomar ações sustentáveis em troca de um *token* específico -, além da capacidade tecnológica de mensurar os impactos individuais e organizacionais.

Como abordado anteriormente, a geração de resíduos já pode ser considerada como uma crise global e, em paralelo, há também a crise dos recursos naturais (TAYLOR; STEENMANS; STEENMANS, 2020), com a qual cada país, estado e região lida de forma diferente. Contudo, apesar de haver desafios distintos, há problemas estruturais que impactam todos. As ações para superar essas crises devem concentrar-se não somente no desenvolvimento de práticas sustentáveis na gestão de resíduos, mas principalmente na promoção de uma mudança de paradigma relacionada à própria geração de resíduos. Junto a essa necessidade surgem ideias e movimentos como "Lixo Zero", o uso eficiente de recursos naturais, entre outros, com o objetivo de ressignificar e reduzir a geração de resíduos.

Segundo Taylor, Steenmans, e Steenmans (2020), surgiu a necessidade mundial em estabelecer uma governança dos resíduos e de integrar princípios e objetivos da *Economia Ecológica*, o que resultou em legislações e políticas, como no caso da *European Commission*

Circular Economy Action Plan (2020), a *Anti-Wastage and Circular Economy Law of France* (2020), e a *People's Republic of China Circular Economy Promotion Law* (2008), sendo uma das questões centrais dessas discussões a questão da rastreabilidade e monitoramento dos resíduos, pois o rastreio de dados é essencial para o avanço de políticas públicas e leis do setor.

Contudo, o rastreio é uma tarefa complexa e requer soluções práticas, viáveis e escaláveis que considerem os diversos aspectos envolvidos. Essa preocupação em rastrear o resíduo não é local, mas global - e tem se tornado uma preocupação não apenas dos países em desenvolvimento, mas também dos países desenvolvidos (GOPALAKRISHNAN et al., 2020). Os países têm metas econômicas, sociais e ambientais e as municipalidades querem desenvolver um sistema de gestão de resíduos funcional. O rastreio do resíduo não apenas é importante pela transparência para o sistema de reporte para alinhamento regulatório, mas principalmente para o desenvolvimento de soluções e políticas públicas baseadas em evidências.

4.3. A gestão de resíduos no Brasil

Evidentemente, o cenário global de gestão de resíduos é demasiadamente complexo não somente por enfrentar as dificuldades estruturais na própria gestão de resíduos (conscientização, coleta, transporte e destinação), mas também por abranger movimentações transnacionais de resíduos, o que gera dificuldades de governança do tema, tendo em vista a sua natureza esporádica, entre outros aspectos. No Brasil, a complexidade da gestão de resíduos é multifacetada e os diversos desafios enfrentados se devem principalmente pela falta de infraestrutura urbana de saneamento básico adequada para a manutenção do meio ambiente, a falta de conscientização da população e a ineficiência da aplicação de políticas públicas nas dimensões social, ambiental e econômica. Esse cenário é refletido nas mais de 80 (oitenta) milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos geradas no Brasil anualmente (ABRELPE, 2021), das quais menos de 10% (dez por cento) dos resíduos que poderiam ser recuperados são reciclados (SNIS, 2022 apud ABRELPE, 2021).

Atualmente, a gestão de resíduos sólidos no Brasil é regulada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), referente à Lei 12.305/2010, que representa a principal diretriz

federal que rege a gestão de resíduos no Brasil. Essa lei ganhou destaque por chamar atenção para pontos importantes da gestão de resíduos antes não abordados. Apesar de ter sido uma política discutida e pensada durante anos, e lançada no ano de 2010, até hoje enfrenta diversas dificuldades em sua implementação. Para ilustração, uma pesquisa realizada em 2015 pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) que teve como objetivo identificar as cidades que, após meia década da promulgação da PNRS, já haviam elaborado ou não um plano integrado de gestão de resíduos demonstrou que, entre 2.325 municipalidades pesquisadas, apenas 42% declararam ter um plano desenvolvido (FRANÇA et al., 2020).

A PNRS define os resíduos sólidos municipais, domésticos e industriais, as responsabilidades federais, estaduais e municipais, além de estabelecer diretrizes para a gestão adequada e integrada dos resíduos sólidos no país e destacar a hierarquia de gestão de resíduos, que prioriza a redução na fonte, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final adequada dos resíduos. A PNRS avançou em diversas diretrizes e uma delas foi a chamada *Responsabilidade Compartilhada*. Segundo a PNRS, o ciclo de vida do produto é de responsabilidade de todas as partes interessadas e envolvidas em sua produção, uso e descarte - como fabricantes, comerciantes, consumidores e governadores. Contudo, a Lei 12.305/2010 não esclarece as estratégias para que a *Responsabilidade Compartilhada* ocorra de fato, o que traz, até hoje, uma dificuldade das organizações, sociedade civil e governo entenderem o seu papel e como se conectar na agenda de gestão de resíduos. Isso se deve ao fato da gestão ter uma alta complexidade e depender, além da tecnologia, da consciência ambiental dos consumidores.

A gestão de resíduos envolve a intersecção de diversas questões ambientais, econômicas, sociais e políticas. No entanto, apesar da existência dos direcionamentos da PNRS, muitos desafios persistem, pois a aplicação das soluções é mais complexa do que a concepção das estruturas ideais de gestão de resíduos. Por exemplo, parte da população não é atendida por uma infraestrutura básica de saneamento e, portanto, não há coleta seletiva e o descarte é irregular. E parte da população com acesso a serviços de coleta seletiva ainda não separa os resíduos como deveria separar, o que dificulta a reciclagem e retorno dos resíduos à cadeia de produção. O desafio é ainda maior se considerarmos os cenários de cada região no Brasil, pois as estruturas de gestão de resíduos da região sudeste, ainda que não integralmente ideais, são mais desenvolvidas do que em outras regiões brasileiras, como o norte do país.

O cenário específico de cada região e estado é relevante, pois a gestão de resíduos no Brasil é dividida em diferentes competências, com a participação e responsabilidade de diversos órgãos e entidades em níveis federal, estadual e municipal, bem como da sociedade em geral. É fundamental que essas esferas trabalhem juntas para uma gestão eficiente e sustentável dos resíduos, visando a proteção do meio ambiente e da saúde pública.

No âmbito federal, cabe ao Ministério do Meio Ambiente a formulação de políticas e diretrizes nacionais para a gestão de resíduos sólidos, bem como a coordenação do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR). Nos estados e no Distrito Federal, a gestão de resíduos é coordenada pelas Secretarias de Meio Ambiente e pelas Agências Reguladoras, que têm a responsabilidade de implementar as políticas e diretrizes nacionais e formular as políticas estaduais de gestão de resíduos. Já no âmbito municipal, as prefeituras são as responsáveis pela gestão dos resíduos gerados em suas cidades, incluindo a coleta, transporte, tratamento e disposição final adequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Essa gestão é realizada por meio das Secretarias de Meio Ambiente ou órgãos equivalentes.

Ainda existe uma grande quantidade de resíduos sendo descartada de forma inadequada em aterros sanitários precários ou em lixões a céu aberto. Além disso, a falta de investimentos em infraestrutura de coleta seletiva e de reciclagem impede que muitos materiais sejam reaproveitados. Algumas iniciativas têm sido implementadas para melhorar a gestão de resíduos no país, como a coleta seletiva, a compostagem de resíduos orgânicos e a melhoria de cooperativas de catadores de materiais recicláveis, mas a mudança deve ser estrutural.

Um dos pontos inovadores na PNRS foi a *Logística Reversa*, que levanta a obrigatoriedade das empresas estruturarem operações em que os produtos disponibilizados ao mercado sejam compensados e retornem de alguma forma para a cadeia de valor. A *Logística Reversa* incentivou a criação de associações de empresas que formaram organizações setoriais com metas de reciclagem compartilhadas.

Infelizmente, a taxa de reciclagem de resíduos no Brasil ainda é baixa em comparação com outros países, e a quantidade exata de resíduos reciclados varia de acordo com a região do país. De acordo com dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, publicado pela

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) em 2021, o Brasil reciclou cerca de 4,5% do total de resíduos gerados em 2019. Esse número ainda é muito abaixo do que poderia ser alcançado, considerando que o país possui grande potencial para a reciclagem de diversos materiais, como plásticos, metais e papelão, por exemplo.

Ainda há muito a ser feito para melhorar a infraestrutura de coleta seletiva, a conscientização da população sobre a importância da separação correta dos resíduos e a implementação de políticas públicas que incentivem a reciclagem no setor público e privado. No entanto, apesar da baixa taxa de reciclagem, o Brasil tem apresentado alguns avanços nessa área nos últimos anos, com a ampliação da coleta seletiva em algumas regiões e a criação de cooperativas de catadores de materiais recicláveis. Além disso, a implementação da *Logística Reversa* para alguns produtos específicos, como embalagens de agrotóxicos e lâmpadas fluorescentes, já se encontram em estágio avançado de implementação e têm contribuído para o aumento da reciclagem desses materiais. Em resumo, embora a taxa de reciclagem de resíduos no Brasil ainda seja baixa, existem iniciativas em andamento para melhorar o cenário, e é fundamental que a população, as empresas e o governo trabalhem juntos para promover uma gestão mais eficiente e sustentável dos resíduos.

A PNRS também propõe que os catadores de materiais recicláveis - profissionais responsáveis por coletar e separar os RSU - sejam considerados como agentes públicos, tendo em vista que representam uma das partes mais essenciais da cadeia de gestão de resíduos. Segundo o Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis (MNCR), existem no Brasil cerca de 800 mil pessoas trabalhando na reciclagem e estima-se que 90% (noventa por cento) do que é reciclado no Brasil seja proveniente da atividade de catadores (MNCR, 2017). A importância desse grupo é evidente, mas, mesmo assim, são invisibilizados ainda que prestem serviços essenciais e otimizem a gestão de resíduos. No começo do ano de 2023, o governo federal alterou alguns direcionamentos da legislação vigente e atualizou diretrizes que fortalecerão as estruturas de cooperativas. A profissão dos(as) catadores(as) ainda é invisibilizada e marginalizada na economia por causa de estigmas sociais e, por esse motivo, é essencial reiterar que o trabalho de catadoras e catadores não ajuda apenas na proteção ambiental e limpeza urbana, mas também gera empregos e possibilita o sustento de milhares de famílias.

Como citado anteriormente, a gestão de resíduos é uma questão central que, na minha percepção, é, em primeiro lugar, um problema enfrentado pelos governos: a limpeza pública precisa ser realizada necessariamente. Há altos custos relacionados às operações de coletas e destinação, ao mesmo tempo que há dificuldade de conscientização ambiental da população e de responsabilização do setor privado. Uma das etapas mais importantes na dinâmica do setor é o transporte e movimentação dos resíduos, que ditam exatamente a sua fonte e destinação - pela qual é possível identificar se as quantidades coletadas e as quantidades destinadas são as mesmas. Nesse cenário, planejar e operacionalizar a gestão de resíduos é um desafio complexo para, principalmente, as municipalidades, tendo em vista a necessidade de coordenação e colaboração entre as frentes envolvidas no processo. Para criar e monitorar políticas públicas, o poder público deveria acessar dados verídicos relacionados à gestão de resíduos e a todos os envolvidos nas operações. Nesse sentido, a arquitetura *blockchain* possibilita o envolvimento de todos os *stakeholders* da operação de forma a viabilizar o compartilhamento de dados de uma forma eficiente, segura, transparente e verificável (AHMAD et al., 2021).

Está mais do que claro que a gestão de resíduos exerce um impacto direto sobre questões ambientais, sociais e econômicas (DAMADI; NAMJOO, 2021). Por esse motivo, com o crescimento populacional, os avanços tecnológicos e as mudanças legais, também é criada a necessidade de estruturar cidades inteligentes (*smart cities*) que suportem um sistema inteligente para a gestão eficiente de resíduos (GOPALAKRISHNAN et al., 2020). Afinal, como outras cidades, as *smart cities* produzem uma grande quantidade de resíduos (CHOURABI et al., 2012 apud GOPALAKRISHNAN et al., 2020).

Quando surge a internet das coisas (IoT), a ideia relacionada às cidades inteligentes (*smart cities*) é destacada também, principalmente pela IoT possibilitar a geração, coleta, armazenamento e análise de dados por meio de aparelhos inteligentes, sensores e outros. No momento em que uma cidade consegue produzir dados dos fluxos que ocorrem em sua dinâmica, a gestão pode se tornar mais eficiente. As cidades, como centros urbanos, enfrentam diversos desafios relacionados ao saneamento, poluição do ar, geração de energia, transporte e, também, de gestão de resíduos. O objetivo das *smart cities* é melhorar a qualidade de vida dos cidadãos ao mesmo tempo que minimiza o congestionamento e trânsito, protege o meio ambiente e economia local.

As discussões relacionadas às *smart cities* trazem consigo suas conexões com a arquitetura *blockchain*. Há pesquisas relacionadas à integração da *blockchain* em *smart cities*, principalmente porque dependem de dados e fontes de dados confiáveis - um aspecto que pode ser apoiado pela *blockchain*, que consegue oferecer uma arquitetura robusta de governança, além da possibilidade da execução de contratos digitais e da coleta de dados (BRANDÃO, 2019 et al. apud FRANÇA et al., 2020). As *smart cities* têm potencial para enfrentar os problemas causados pela destinação incorreta de resíduos e há muitas oportunidades advindas do uso da tecnologia *blockchain* para gestão de resíduos (AHMAD et al., 2021). Contudo, é importante mencionar que os limites e desafios técnicos, sociais e organizacionais em implementar essas oportunidades ainda não foram explorados com profundidade por pesquisadores (AHMAD et al., 2021).

Muitos dos sistemas de gestão de resíduos atuais são principalmente baseados na IoT e em formas de armazenamento e processamento de dados em nuvem e centralizados e desintegrados a outros tipos de análises (AHMAD et al., 2021). A IoT permite que dados relacionados aos tipos de resíduos, a temperatura e a humanidade dentro de contentores, e aos transporte de caminhões sejam detectados, monitorados e transmitidos para bases centralizadas de dados (AHMAD et al., 2021). Contudo, o armazenamento e processamento de dados de forma centralizada é um ambiente propício para a geração de dados inconsistentes e não confiáveis entre os entes envolvidos - principalmente devido a sua vulnerabilidade a modificações, fraudes e eliminação - e limita as oportunidades e potencial de interação e colaboração entre os *stakeholders*. O impacto de um sistema com baixa confiabilidade e credibilidade dos dados afeta diretamente o diagnóstico, planejamento e a tomada de decisões das partes envolvidas e dos administradores públicos de cidades inteligentes, o que prejudica a eficiência dos processos envolvidos (AHMAD et al., 2021).

A gestão de resíduos depende integralmente da integração e participação de todos os *stakeholders* dessa operações, que contam com diferentes perspectivas sociais, ambientais, políticas e tecnológicas (ZAMAN; LEHMAN, 2011 apud GOPALAKRISHNAN et al., 2020), o que dificulta o avanço da implementação da tecnologia no setor.

4.4. Partes envolvidas na gestão de resíduos

A operação e a cadeia de gestão de resíduos é complexa e abrange diversos atores envolvidos em diferentes movimentações de resíduos. Para Castiglione et al. (2023) há três principais *stakeholders* no dinâmica de gestão de resíduos municipais: (1) o Município - que, a fim de pagar as empresas de coleta, arrecada dinheiro dos cidadãos; (2) os cidadãos (aqui, inclui-se também os cidadãos envolvidos em atividades produtivas e comerciais) que pagam a taxa para o Município para assegurar que os resíduos produzidos sejam coletados; e (3) a organização responsável pela coleta dos resíduos, que coleta os resíduos sólidos urbanos em áreas específicas e transportam para o centro de coleta mais próximo. Já Baralla et. al (2023) destacam (1) os cidadãos e indústrias; (2) os Municípios; (3) entidades subcontratadas que recolhem e gerem os contentores; (4) diferentes centros que se ocupam da coleta, descarte e reciclagem; e (5) produtores de materiais de resíduos reciclados que colocam novos produtos no mercado. Em ambas visões, não se consideram os(as) catadores(as) que, apesar de serem trabalhadores informais, são responsáveis por grande parte da operação da cadeia de reciclagem, como já abordado neste trabalho.

O papel do cidadão é atuar de uma forma mais sustentável ao consumir produtos mais sustentáveis, tentar reduzir ao máximo a sua geração de resíduos e separar os resíduos gerados na própria fonte, pois essa ação impacta na cadeia como um todo. Outros geradores de resíduos, como empresas, indústrias, hospitais etc., devem se preocupar em planejar a gestão de resíduos específicos de suas operações. Já os Municípios devem se preocupar com a eficiência logística dos serviços de limpeza urbana e ações de fiscalização. Também devem ser consideradas nas análises as empresas e indústrias que devem buscar materiais sustentáveis em sua cadeia de produção. Importante ressaltar que, nesse sistema, todos são geradores de dados.

Para que a gestão de resíduos, como um todo, seja efetiva e eficaz, deve ser desenvolvido um ambiente adequado para a cooperação entre as empresas, cidadãos e municípios, por meio de, por exemplo, incentivos para que os cidadãos e outros produtores de resíduos desempenhem um papel construtivo no sistema, além do desenvolvimento de instrumentos de gestão necessários para os municípios (DAMADI; NAMJOO, 2021). É evidente

que, a legislação e sua regulamentação e fiscalização, ainda se mostram como caminhos mais efetivos para a mudança estrutural.

4.5. Gestão de resíduos e a arquitetura *blockchain*

Tendo em vista a complexidade da discussão relacionada à gestão de resíduos, uma questão problemática não apenas a nível local, mas também global, surgem reflexões acerca das soluções para os diversos desafios que acompanham essa agenda. Nesse sentido, há algumas ligações entre a *Economia Ecológica e Regenerativa* e a arquitetura *blockchain*.

Embora os instrumentos políticos visem promover boas práticas e as ações fiscalizatórias possam garantir o cumprimento das diretrizes legais, em escala nacional e global, devido à complexidade dos sistemas de gestão de resíduos, estes estão constantemente vulneráveis à má gestão e suscetíveis a atos corruptos.

Há falta de conhecimento sobre o que acontece com os resíduos e a possibilidade de serem destinados em aterros ou locais irregulares é alta. Por esse motivo, a existência de mecanismos adequados que integrem as operações de gestão de resíduos em uma *Economia Ecológica* global, de forma a assegurar a transparência e a responsabilização por meio de monitoramento, controle e transmissão de informações, é fundamental. Dentre esses mecanismos, há a necessidade de desenvolvimento e implementação de tecnologias que acompanhem movimentos relacionados a novos entendimentos do meio ambiente e das necessidades regulatórias e operacionais para a superação dos desafios setoriais, como as tecnologias de informação e comunicação (TICs), em inglês, *Information and Communication Technologies* (ICTs).

As soluções baseadas na arquitetura *blockchain* possibilitam a concretização de uma abordagem colaborativa ao permitir que governos, órgãos reguladores e empresas cooperem para uma gestão de resíduos mais organizada com menos e/ou inconsistências melhor controladas. Por meio da *blockchain*, o rastreio de resíduos pode garantir que os recicláveis não sejam destinados a aterros (PILKINGTON, 2016 apud GOPALAKRISHNAN et al., 2020). Nesse cenário, o livro-razão compartilhado - e acessível aos participantes da rede - é formado por todas as transações armazenadas sobre a destinação de resíduos e de outras

frentes relacionadas. Este sistema ajuda a manter o controle dos resíduos gerados - recicláveis ou não - e minimiza o risco de inconsistências e/ou manipulação de dados (NEWSWIRE, 2019 apud GOPALAKRISHNAN et al., 2020).

Portanto, integrar a *blockchain* no desenvolvimento da arquitetura de sistemas é uma forma eficiente de criar controles mais transparentes que liguem todos os envolvidos nos diversos tipos de cadeia - de fornecimento, de gestão de resíduos etc.-, de impactar a valoração de um produto ou serviço e melhorar o desempenho e a comunicação entre os entes. Ao conectar os produtores, as indústrias, os distribuidores e consumidores, por exemplo, podemos garantir a responsabilização pela gestão dos "resíduos" e de outras frentes do processo.

Sem saber do que é feito um produto, este não pode ser reciclado; sem saber como foi utilizado, o potencial de reutilização também é desconhecido. Para otimizar a reutilização e a reciclagem, é fundamental que a informação sobre os componentes de um produto e a forma como foi utilizado seja partilhada entre os vários participantes na cadeia. A informação é essencial para uma economia circular. Devido à sua transparência e rastreabilidade, a *blockchain* pode ser verificada coletivamente, o que é ideal para processos que envolvem várias organizações.

A fim de reunir as principais perspectivas e reflexões desenvolvidas pelo tema até o presente momento, foi realizada uma análise generalista da produção científica referente à temática. A revisão teve como objetivo evidenciar quais são os benefícios da *blockchain* para a gestão de resíduos. Os artigos existentes abrangem muitas outras facetas do tema, mas, para a presente análise, o enfoque foi dado nas dificuldades e desafios enfrentados na gestão de resíduos e nos benefícios que a arquitetura *blockchain* pode oferecer, assim como os desafios de sua implementação. Muitos dos artigos focam na gestão de resíduos específicos - como os resíduos eletroeletrônicos -, na logística reversa e ou em cadeias de suprimentos. Nessa contextualização, foram analisados os artigos classificados pela autora como abrangentes, relacionados aos temas (1) *Gestão de Resíduos*, (2) *Blockchain* e (3) *Smart Cities*.

Em geral, os artigos apresentam projetos, modelos, desenvolvimento de *frameworks* para a integração de IoT e *blockchain* (Lamichhane et al.) ou que utilizam a *blockchain* na gestão municipal de resíduos. Os artigos também sugerem estruturas, protótipos de interfaces

- base *blockchain* -, programas de incentivo e recompensas por meio da tokenização e criptomoedas, aplicabilidade de *smart contracts* na gestão municipal de resíduos sólidos (Ongena et al.), desenvolvimento de plataformas - de monitoramento de coleta ou de transporte de resíduos, por exemplo -, análise de custos referentes à aplicação da arquitetura, entre muitas outras frentes exploradas que destacam as oportunidades de otimização do sistema de rastreabilidade da gestão de resíduos sólidos baseado em *blockchain*.

Os artigos apresentaram diversas abordagens que destacam, principalmente, a importância da participação das diferentes partes envolvidas na gestão de resíduos. As diferentes tecnologias, baseadas em IoT e *blockchain*, contam com características que devem ser conectadas a fim de serem aproveitadas para a resolução de problemas e desafios relacionados aos sistemas e operações de gestão de resíduos de forma prática e viável. Contudo, evidentemente, a gestão de resíduos não será solucionada por nenhuma tecnologia - nesse caso, pela arquitetura *blockchain*.

Como comentado, a gestão de resíduos é um sistema complexo com diversas fases que se sucedem e dependem de habilidades distintas e um número alto de participantes. Segundo Gavina (2023), é possível identificar 6 (seis) macro-fases da gestão de resíduos: 1. Produção; 2. Consumo; 3. Coleta; 4. Aquisição de resíduos e transporte; 5. Triagem, segregação, e disposição; 6. Reciclagem e "Renovação" - considerando que a produção se utiliza de recursos naturais, seria essencial considerar uma etapa anterior à produção, que seria a extração de matéria-prima. Cada fase apresenta dificuldades diferentes, mas há desafios estruturais comuns que impactam as operações como um todo.

Diante do exposto, seguem alguns exemplos de desafios enfrentados pelos sistemas e operações de gestão de resíduos sólidos:

- a) **Falta de um sistema de gestão e compartilhamento de dados e informações:** os sistemas atuais, em sua maioria, não possibilitam o compartilhamento de dados, e a sincronização de informações é dificultada devido aos diferentes sistemas de coletas de dados (PREETHI; RADHAKRISHAN, 2019; LAOUAR et al., 2019 apud BARALLA et al., 2023). Geralmente, cada fase da gestão de resíduos é gerida por empresas e entes diferentes que contam com base de dados, sistemas e *softwares* próprios. Dessa forma, os dados não são compartilhados nem sincronizados, o que

dificulta gerir a quantidade de resíduos gerada pelos consumidores e destinada corretamente (BARALLA et al., 2023) e acompanhar o desempenho de indicadores e variáveis;

- b) **Falta de awareness, sensibilização e participação de cidadãos:** mesmo com a elaboração de leis rigorosas e financiamentos significativos, não é possível alcançar uma gestão eficiente dos resíduos sem o apoio da sociedade civil. O engajamento e motivação dos cidadãos em separar e descartar os resíduos corretamente pode levar à redução do descarte ilegal e o aumento das taxas de reciclagem, além de, consequentemente, beneficiar o meio ambiente (FRANÇA et al, 2020; SHAHM et al. 2020b);
- c) **Ausência de um ecossistema cooperativo e de confiança:** a gestão de resíduos sólidos depende da coordenação entre os diferentes entes da gestão de resíduos - os responsáveis pela coleta, pela separação, pelo transporte, pela destinação etc. É um sistema que depende da ação coordenada. Contudo, além de serem desconectados de outros entes da cadeia, os sistemas e tecnologias - como monitoramento via GPS - utilizados hoje ainda são propícios a adulteração de dados. Dessa forma, seria necessária a implementação de um sistema a prova de alterações e imutável para fortalecer a confiança e cooperação entre os entes;
- d) **Predominância de sistemas, abordagens e tecnologias manuais e centralizadas:** a maior parte das informações são coletadas manualmente pelos operadores e depois digitalizadas em sistemas centralizados. Assim, os dados estão sujeitos a erros e perdas, que podem ser intencionais ou não intencionais, devido à falta de sincronização em tempo real. Essa dinâmica torna a geração de dados vulnerável à manipulação e adulteração (AHMAD et al., 2021);
- e) **Falta de (tecnologias de) rastreio do fluxo de resíduos:** um dos principais desafios da gestão de resíduos é a falta de dados atualizados e exatos. A imprecisão da informação relacionada à gestão de resíduos pode resultar em planejamentos incorretos e na perda de oportunidades de otimização de processos, redução e reciclagem de resíduos, além de impossibilitar o monitoramento real do progresso. O

rastreio de informações normalmente é comprometido devido ao grande número de atores envolvidos na gestão de resíduos e a falta de coordenação entre esses entes (AHMED; ALI, 2006 apud GOPALAKRISHNAN et al., 2020). Por exemplo, diariamente, milhares de toneladas são movimentadas para aterros e parte dos resíduos recicláveis é transferida para estações de transbordo ou centrais de recuperação de materiais antes de sua destinação final, mas ainda não são monitoradas. Mesmo que os resíduos sejam separados no descarte, não existe uma rastreabilidade adequada que garanta a sua destinação correta, o que possibilita a mistura de resíduos durante diferentes fases de transporte. Por exemplo, em alguns casos, diversos tipos de resíduos são incinerados em conjunto, sem terem passado por uma triagem e tratamento adequados, o que faz com que se perca a oportunidade de utilizar alguns recursos de forma mais eficiente para outros fins, como a reciclagem ou a decomposição (PATURI et al., 2021);

- f) **Falta de controle e monitoramento do cumprimento e aplicação das diretrizes legais:** a fiscalização é essencial para o sucesso de uma legislação. Os problemas relacionados ao monitoramento, à separação incorreta dos resíduos, à ineficiência logística e de transporte são fatores críticos do processo de gestão de resíduos e consequências de um sistema que, apesar de contar com diretrizes legais, não é baseado em fiscalizações e acompanhamento constantes das autoridades públicas. O Município, em particular, é responsável pela supervisão de todo o processo: deve garantir que tanto as indústrias quanto as empresas responsáveis pela coleta de resíduos cumpram as regras e deveres contratuais de produção e separação de resíduos. Um controle falho gera ineficiências na gestão, que são refletidas no ambiente urbano na insatisfação e perda de confiança dos cidadãos (CASTIGLIONE et al., 2023). Como não existe um sistema de rastreabilidade da destinação de resíduos, não há como saber se as diretrizes legais estão sendo seguidas e, como consequência, existe uma grave falha na falta de responsabilização do não-atendimento à legislação. Por exemplo, durante o transporte, há grandes chances dos resíduos se misturarem e serem destinados de forma incorreta - resíduos não compatíveis podem provocar incêndios, explosões, liberação de gases tóxicos e produção de calor e, no caso dos aterros, podem acarretar na poluição ambiental e em riscos para a saúde humana (PICHTEL, 2005 apud GOPALAKRISHNAN et al., 2020);

g) **Perda do valor econômico dos resíduos:** a educação e comunicação ambiental ineficientes, a falta de infraestrutura de segregação de resíduos e o acompanhamento inadequado fazem com que os materiais que poderiam ser recuperados e resíduos com o potencial de serem reciclados, ou com um potencial de recuperação energética significativa, sejam destinados a aterros devido à separação incorreta na fonte de geração. Assim, o valor econômico dos resíduos é ameaçado devido à separação incorreta de resíduos na fonte e à desconsideração de que produto no final da sua vida útil tem um valor econômico se for total ou parcialmente reutilizável (BARALLA et al., 2023). Estima-se, por exemplo, que, aproximadamente, 10% (dez por cento) do ouro minerado esteja em lixões - essa porcentagem equivale a 300 toneladas de ouro despejadas em lixões todos os anos.

Qualquer sistema de gestão de resíduos é único, pois é impactado diretamente por uma alta diversidade de fatores como as diferentes partes envolvidas, os tipos de resíduos, as políticas de resíduos, o país envolvido, a legislação e a regulamentação (BARALLA et al., 2023). Assim, apesar de existirem algumas questões comuns que constituem o desafio da gestão de resíduos, por ser um processo complexo, altamente variável e diversificado - tanto entre países, quanto entre estados, municípios e organizações -, há diversas outras problemáticas que poderiam ser indicadas. Por exemplo, a dificuldade de padronização do trabalho dos operadores, tendo em vista que cada tipo diferente de resíduo deve ser tratado de uma forma específica (CASTIGLIONE et al., 2023). Outro desafio é a composição dos resíduos que muitas vezes dificulta ou até impossibilita a sua reciclagem - esse ponto deveria ser resolvido pelas indústrias que deveriam buscar materiais sustentáveis e recicláveis. Contudo, em linhas gerais esse é o cenário: grande parte dos sistemas de gestão de resíduos existentes nas cidades não consegue proporcionar transparência operacional, rastreabilidade, auditoria, segurança e dados confiáveis (AHMAD et al., 2021), com os quais a gestão pública se favoreceria, pois poderia se basear em evidências para a melhoria da eficiência de seus serviços e formulação de políticas públicas.

A transição para o desenvolvimento de soluções sustentáveis será impulsionada e fortalecida pela rápida convergência das tecnologias da informação (FRANÇA et al., 2020) e sua interação com os seres humanos. As tecnologias destinadas à gestão de resíduos devem fornecer um nível específico de transparência, permitindo a coordenação eficiente das ações

entre diversos atores envolvidos (FRANÇA et al., 2020). Tendo em vista as complexidades deste contexto e a ineficiência das técnicas, dos processos e das tecnologias atuais de gestão de resíduos, a utilização das TICs parece ser a forma mais promissora e eficaz de monitorar e controlar adequadamente a gestão de resíduos e atuarem como mediadoras nos processos comunicacionais da cadeia de gestão de resíduos - por meio da geração de dados, da conexão entre as partes e da rastreabilidade das informações.

Uma das arquiteturas propostas para sustentar esse ecossistema é a *blockchain*, que se destaca entre as opções devido às suas características que permitem a sua utilização para o registro compartilhado, transparente, confiável e inviolável dos dados, bem como para a automatização de sistemas de controle e monitoramento (BARALLA et al., 2023).

Descentralizada, inviolável, transparente, rastreável, auditável, segura e confiável. São diversas as oportunidades oferecidas pela arquitetura *blockchain* para a gestão de várias atividades e ações relacionadas à coleta, transporte, segregação, descarte e reciclagem de resíduos em *smart cities* (AHMAD et al., 2021). Abaixo, seguem as principais - não todas - características da arquitetura *blockchain* que podem gerar benefícios para a gestão de resíduos:

- a) **Imutabilidade e segurança dos dados:** os dados e transações registrados na *blockchain* - por meio da validação da rede de computadores - são imutáveis, encriptados e podem ser compartilhados entre todos os participantes da rede, o que impossibilita a fraude de informações e gera maior segurança e integridade dos dados compartilhados. As decisões públicas em relação à gestão e direcionamento de recursos com base em dados potencialmente não-confiáveis e modificáveis podem ser ineficientes e custosas. A imutabilidade dos dados e as características de tolerância a falhas possibilitadas pela *blockchain* fazem com que as autoridades realizem a gestão dos recursos de forma eficiente nas cidades inteligentes (AHMAD et al., 2021). As características de transparência e imutabilidade da cadeia de blocos podem ajudar a rastrear e acompanhar a quantidade e os tipos de resíduos coletados, as informações relacionadas às coletas e ao destino final dos resíduos coletados (AHMAD et al., 2021). Devido ao armazenamento criptografado e aos protocolos de consenso, há segurança, consistência e imutabilidade dos dados gerados devido à distribuição e

descentralização, pois nenhum dado pode ser modificado, deletado ou forjado (AHMAD et al., 2021);

- b) **Rastreabilidade dos dados:** o monitoramento e rastreio de dados-chave é possibilitado pela *blockchain* por meio do registro - de forma cronológica - de cada ação dos entes envolvidos na gestão de resíduos, o que apoia a verificação de autenticidade dos dados em relação às práticas relacionadas ao processo da movimentação dos resíduos - desde a coleta até o seu tratamento e destinação. O rastreio por meio dos registros possibilita a realização de diagnósticos dos processos e pode servir como base para otimizar e tornar mais eficientes operações de cadeia de suprimentos, por exemplo, e, na gestão de resíduos, minimizar custos relacionados à coleta, segregação, transporte e tratamento. Com a transparência do processo, é possível identificar inconsistências na quantidade de resíduos coletados, transportados e tratados, com o registro dos responsáveis e organizações envolvidas. Com esse rastreio, é possível identificar, mapear e responsabilizar os atores pela gestão de resíduos específicos ao identificar as origens dos resíduos. É realizado o monitoramento, rastreio e checagem do tratamento e destinação correta de todos os resíduos que foram coletados, a fim de verificar se estão em *compliance* e alinhados às regulamentações. Esse monitoramento apoia a execução das leis e o desenvolvimento de estratégias mais eficazes, contra o mercado ilegal de aterros, por exemplo. Neste contexto, a *blockchain* pode garantir o controle dos resíduos em tempo real, ao introduzir a emissão de sanções e/ou penalidades às partes interessadas que não garantam operações legalmente alinhadas (DUA et al., 2020 apud BARALLA et al., 2023). O acesso à informação compartilhada na arquitetura *blockchain* sobre a composição dos produtos ou sobre o seu ciclo de vida, tanto no caso de eliminação total (ex.: incineração) como no caso de reciclagem, por exemplo, pode levar a uma gestão correta dos resíduos, minimizando o seu impacto ambiental (ZHANG et al., 2020; DINDARIAN; CHAKRAVARTHY, 2019; WANG et al., 2019; SAHOO; HALDER, 2020; DASAKLIS et al., 2020; LAMICHHANE et al., 2017 apud BARALLA et al., 2023). Quaisquer ações podem ser identificadas e verificadas devido à rastreabilidade da *blockchain*. Dessa forma, há a prevenção de fraudes e manipulações, pois a *blockchain* assegura que todas as atividades cumpram as leis e regulações - se não cumprirem, serão identificadas (AHMAD et al., 2021). Por meio do acesso aos dados, as autoridades públicas podem analisar a geração de resíduos e

identificar quais regiões precisam de estruturas e instalações próprias de tratamento de resíduos (AHMAD et al., 2021), além de monitorarem o setor e os crimes ambientais decorrentes de ações irregulares (ONGENA et al., 2018; FRANÇA et al., 2020; SCHMELZ et al., 2019; LAOUAR et al., 2019);

- c) **Descentralização:** por meio de sua arquitetura aberta e descentralizada, a *blockchain* dispensa a necessidade de haver um detentor dos dados e intermediário entre os processos e dinâmicas que ocorrem entre atores. A possibilidade de todos os indivíduos verificarem os dados registrados no sistema baseado na arquitetura *blockchain*, como a quantidade de resíduos gerados e destinados, dados financeiros e outros tipos de informações, aumenta e reforça a confiança entre o cidadão, o município e os entes responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos. A integridade do sistema e a conexão entre os *stakeholders* possibilitada pela funcionalidade descentralizadora da *blockchain* permite a cooperação, colaboração e divisão de informações e também podem fortalecer a inclusão social de populações de baixa renda, marginalizadas ou de mercado restrito no mercado formal (LEWIS, 2015 apud AHMAD et al., 2021). A *blockchain* permite que os dados sejam acessados por organizações autorizadas, o que desafia as limitações de sistemas centralizados utilizados atualmente que criam silos de informação desconectados (AHMAD et al., 2021);
- d) **Conexão com IoT:** os sistemas baseados na IoT permitem o monitoramento e controle remotos e ajudam a controlar as cidades inteligentes por meio de uma rede de sensores implantados que coletam dados em tempo real e obtêm informações a partir desses dados. Os dados coletados por esses sensores sobre os resíduos podem ajudar a prever e a identificar potenciais, como a otimização da rota dos caminhões, por exemplo - podendo minimizar a taxa de consumo de combustível dos caminhões e maximizar a quantidade de resíduos recolhidos por itinerário. A *blockchain* pode ajudar no registro e rastreio dos dados coletados pelos sensores, o que gera uma elevada visibilidade e transparência das coletas de resíduos, permitindo às autoridades garantir que as coletas ocorram corretamente, por exemplo;

- e) **Possibilidade de integrar os contratos inteligentes (*Smart Contracts*) nos sistemas:** os contratos inteligentes são protocolos computacionais autoexecutáveis com base em critérios pré-determinados. Dessa forma, os contratos inteligentes são executados automaticamente apenas se um evento ou uma série de eventos específicos ocorrer (SAVELYEV, 2017 apud BARALLA et al., 2023) e os critérios pré-determinados no acordo forem cumpridos. Assim, o objetivo de um contrato inteligente é monitorar e executar digitalmente acordos que seguirem as regras pré-determinadas que podem ser executadas automaticamente à medida que os eventos específicos ocorrerem. Os contratos inteligentes auxiliam as partes interessadas na realização de operações comerciais de forma mais rápida, barata e segura em comparação com os sistemas tradicionais que exigem intermediários (AHMAD et al., 2021). Os contratos inteligentes, como parte da lógica da gestão de resíduos baseados em uma plataforma *blockchain*, ajuda a atribuir regras de rastreio, termos, políticas e outras imposições das autoridades responsáveis pelas tomadas de decisões (GOPALAKRISHNAN, 2020; BARALLA et al., 2023). Os contratos inteligentes baseados na *blockchain* são capazes de aumentar a cooperação e a coordenação entre geradores de resíduos, aparistas, unidades de reciclagem, entre outros atores, como, por exemplo, por meio da automatização de pagamentos. Além disso, os contratos inteligentes designados para a gestão de resíduos podem permitir às autoridades monitorar as atividades de gestão de resíduos e ajudar a regular a quantidade e a origem dos resíduos reciclados. Neste cenário, a *blockchain* pode ser utilizada para resolver questões referentes a transações financeiras e pode identificar possíveis fraudes. Ao identificarem irregularidades, os contratos inteligentes podem notificar as autoridades sobre a ocorrência para o direcionamento de ações legais. A possibilidade de programação e automação de processos relacionados às atividades, operações e termos entre os *stakeholders* representa um grande avanço na automatização de ações-chave do setor (AHMAD et al., 2021). Os *smart contracts* ganharam atenção por permitirem que o governo estabeleça critérios pré-definidos e automaticamente realize a gestão do cumprimento legal - por exemplo, os resíduos hospitalares não pode passar em algumas vias e em determinados horários (DAMADI; NAMJOO, 2021) e, com o GPS, essa questão poderia ser rastreada e notificada automaticamente. Assim, a *blockchain* pode apoiar os municípios no cumprimento de regras e políticas. Os dados gerados por meio de aparelhos, sensores e participantes do sistema ajudam o governo a analisar e gerir suas

ações de forma mais prática, eficiente e baseada em evidências. Assim, o poder público consegue trabalhar para detectar, antecipar e prever ações irregulares;

- f) **Mecanismos de incentivo:** os governos locais ou centrais podem utilizar um mecanismo de recompensa para incentivar as pessoas a destinarem os seus resíduos de forma sustentável, por meio de pontos de coleta de resíduos recicláveis, por exemplo. Os dados relacionados a essas ações podem ser coletados e utilizados para monitorar os hábitos dos cidadãos e ajudar os municípios a decidirem estratégias adequadas. A *blockchain* pode facilitar as operações de sistemas por meio do registro de dados que possibilitarão a geração de recompensas para as pessoas que, ao descartarem corretamente os seus resíduos - que podem ser reciclados e ou reutilizados - em locais e condições específicas, podem receber benefícios como recompensa com base na qualidade e no tipo de resíduos que produzem. As recompensas são uma estratégia de engajamento da sociedade civil para que o descarte correto e reutilização de resíduos ocorra, bem como o aumento da sensibilização relacionada ao tema (PREETHI; RADHAKRISHAN, 2019; AHMAD et al., 2021a; AJWANI-RAMCHADANI et al., 2021a);
- g) **Transparência:** o registro da geração, transferência e dos diversos fluxos de recursos e resíduos na *blockchain* fornece um registro da proveniência dos resíduos. Esta proveniência pode ser utilizada para confirmar a ocorrência de uma transferência ou devolução de resíduos, bem como para identificar a organização ou indivíduo responsável pelos resíduos. Esses registros na *blockchain* são úteis para auditar os fluxos de recursos e resíduos - o que pode ajudar na checagem do cumprimento da regulamentação (TAYLOR; STEENMANS; STEENMANS, 2020). Assim, devido à transparência da cadeia de fornecimento, é possível rastrear os resíduos desde a fonte geradora até a sua destinação final. Ao longo do processo, a arquitetura permite também que os participantes tenham visibilidade e transparência das transações e dados (AHMAD et al., 2021). Além disso, por meio da rastreabilidade e transparência dos dados, é possível verificar a porcentagem de resíduos reciclados, incinerados, enviados a aterros etc.; analisar a capacidade de operação de plantas de reciclagem; ou até mesmo checar se os efluentes industriais de uma indústria específica receberam ou não tratamento;

- h) **Auditabilidade:** a característica de auditabilidade se dá devido à imutabilidade e integridade dos dados registrados na *blockchain*, fato que possibilita a identificação dos manipuladores de dados relacionados aos resíduos cujas ações - como as movimentações realizadas ou tecnologias de tratamento - não estão em conformidade com a legislação (AHMAD et al., 2021). A transparência do sistema, baseada na geração de dados confiáveis e auditáveis, pode servir para a contabilização de resultados e acompanhamento de indicadores de desempenho, a partir dos quais as empresas e os municípios podem analisar e tomar decisões (FRANÇA et al., 2020; DAMADI; NAMJOO, 2021);
- i) **Proteção e gestão de documentos:** é difícil verificar se as práticas de gestão de resíduos adotadas por uma indústria estão alinhadas às legislações que visam a segurança das pessoas e do meio ambiente. Nesse cenário, há certificados e documentos relacionados à gestão de resíduos que indicam as regras, os métodos e os procedimentos que devem ser seguidos durante a coleta, o transporte, a separação e o tratamento dos resíduos. Quando geridos manualmente ou por meio de sistemas centralizados, documentos e certificados estão sujeitos a perdas, danos, manipulações e modificações. Em cidades inteligentes, as políticas eficazes de gestão de resíduos exigem o registro e a gestão segura de documentos relacionados às operações, como recibos de compras, relatórios financeiros e contratos. Segundo Ahmad et al. (2021), a descentralização da *blockchain* permite que os diversos documentos sejam armazenados em um ambiente seguro e, como o registro dos documentos na *blockchain* é digital, há prevenção da perda de dados e arquivos, pois não podem ser perdidos fisicamente. O autor também destaca que a *blockchain* pode minimizar fraudes relacionadas aos documentos: (1) a rede distribuída de nós que a constituem pode ajudar na comparação e/ou validação de assinaturas; (2) por meio da programação de contratos inteligentes auto-executáveis e funções *hash* irreversíveis, há como proteger os documentos contra manipulação e inconsistência de dados; e (3) os protocolos de consenso dificultam a falsificação de licenças ou de documentos de gestão de resíduos, devido à imutabilidade da geração dos dados. Ao possibilitar o acesso de partes específicas aos documentos, as organizações participantes podem

verificar a autenticidade dos documentos como licenças dos participantes envolvidos nas atividades de gestão de resíduos (AHMAD et al., 2021);

- j) **Responsabilização pela operação:** os resíduos produzidos nas cidades são, normalmente, coletados e geridos por empresas contratadas pelo poder público ou pelo setor privado - a depender da legislação local. As ações das partes interessadas envolvidas na gestão de resíduos nas cidades devem cumprir a legislação que direciona a coleta, o transporte, o armazenamento, o tratamento e a destinação de todos os tipos de resíduos. Os sistemas existentes responsáveis pela gestão de resíduos nas cidades são ineficientes na responsabilização de indivíduos ou organizações pelos seus serviços - como atrasos ou perdas de resíduos em qualquer fase da operação. Por meio da *blockchain*, as partes interessadas envolvidas, como as empresas de coleta e tratamento, as municipalidades, entre outros, podem ser incluídas em uma única rede, tornando assim os dados e as transações visíveis e transparentes para todas as partes autorizadas. A característica de responsabilização identifica os responsáveis por uma determinada ação na *blockchain* e apoia na identificação de atos ilícitos e desalinhados à legislação. Por meio da *blockchain*, as autoridades podem verificar se há resíduos perdidos - por meio da comparação do volume de resíduos coletados, transportados e destinados no local de tratamento -, se os resíduos industriais perigosos estão sendo destinados nos locais corretos, entre outros. A partir desse cenário, as autoridades públicas podem analisar os dados armazenados e responsabilizar atos impróprios com segurança, o que os auxilia no ajuste, planejamento e execução de políticas públicas, e na aplicação de penalidades a indivíduos ou organizações (AHMAD et al., 2021).

A gestão de resíduos baseada na arquitetura *blockchain* permite a tomada de decisões embasada em dados, maior produtividade, eficiência de custos e garantia de conformidade com as legislações relativas ao tratamento e destinação de resíduos (AHMAD et al., 2021). Além disso, a *blockchain* tem a capacidade de reduzir os custos e aumentar a eficiência de recursos no que tange à gestão de documentações legais e à velocidade, eficiência e automatização de processos (AHMAD et al., 2021). A arquitetura também pode permitir a implementação eficaz da *Economia Ecológica*, por meio do monitoramento e rastreabilidade com precisão e em tempo real não apenas da cadeia reversa - referente à gestão de resíduos até à regeneração da matéria-prima -, mas também das fases da cadeia direta, desde a produção até ao consumo.

Dessa forma, é evidente que o papel da *blockchain* na gestão de resíduos em cidades inteligentes seria fundamental por conseguir oferecer rastreabilidade, imutabilidade, transparência e auditoria em tempo real de forma descentralizada, confiável e segura, e em conformidade com a legislação, além da proteção da documentação de gestão de resíduos e a gestão de frotas e contratos inteligentes baseados em *blockchain* (AHMAD et al., 2021).

Para ultrapassar os problemas que afetam os sistemas de gestão de resíduos decorrentes das operações produtivas "lineares", a *blockchain* é aplicada para melhorar a gestão da informação e permitir conexões entre as partes. Como resultado, um sistema de gestão de resíduos baseado na arquitetura *blockchain* possibilita e aprimora a transmissão de informações e os processos de tomada de decisão, o que pode levar a uma maior eficiência e à redução de custos das operações (CASTIGLIONE et al., 2023).

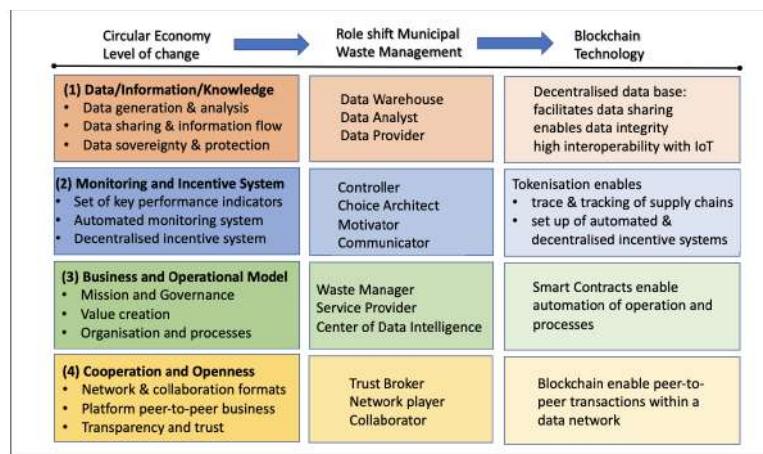
4.6. Conexão informativa

Ao analisar os benefícios do uso da arquitetura *blockchain*, fica claro que um dos seus principais potenciais refere-se no aprimoramento dos fluxos informativos entre os diversos atores - seja por meio da coleta e monitoramento de dados, seja pela interface de contato e transmissão de informações. Nesse sentido, Lenz (2021) destaca que a *Economia Ecológica* será efetiva apenas se todos os *stakeholders* envolvidos no processo tiverem a possibilidade de compartilhar dados e informações em uma mesma plataforma para que assim cada um entenda os múltiplos desafios íntegros em cada processo da cadeia de outros atores. O autor pontua que cada processo da cadeia de valor é sempre composto por três fluxos: o fluxo de materiais, o fluxo oposto de pagamentos e o fluxo de informação. O mais importante é o fluxo de informação entre os participantes na cadeia de processos, que deve ser estruturado de forma eficiente e sem problemas. Se o fluxo de informação for obstruído por não existirem interfaces automáticas entre os silos de dados das empresas ou se os meios de comunicação enfraquecerem a cadeia de informação, ocorrerão atrasos e erros no fluxo de materiais e de pagamentos. Além disso, os custos de monitoramento serão enormes, porque sem a segurança da informação sobre o curso do processo em cadeias de abastecimento longas, será necessário um controle permanente (LENZ, 2021).

Assim, os fluxos a espiral de materiais necessitam de um fluxo de informação descentralizado entre as partes interessadas. O pré-requisito básico de um fluxo a espiral de materiais é o fluxo de informações organizado de forma descentralizada dentro de uma rede de partes interessadas - uma estrutura que a *blockchain* consegue oferecer (LENZ, 2021). Além da organização descentralizada da rede permitir a atualização e processamento constante dos dados - o que pode ser considerado inviável em uma base de dados central, com uma gestão centralizada, tendo em vista o grande número de participantes -, a descentralização dispensa a necessidade de uma autoridade central responsável pela gestão das trocas de informações, tendo em vista que os pares têm o poder de fornecer e trocar informações e valores por iniciativa própria (LENZ, 2021). A estrutura descentralizada da rede permite que cada *player* introduza dados e pode também ser responsabilizado por eles. Esse formato é o modelo mais eficaz de organizar o fluxo de informação, pois, nessa estrutura, é permitido que os *players* da cadeia de fornecedores e de resíduos, independentemente da sua relação, troquem dados de forma fácil, rápida, segura e otimizada.

Abaixo, segue um esquema que destaca a importância do compartilhamento de informações entre as várias partes interessadas, desenhado pelo autor que resume os fluxos entre 3 fases: (1) as mudanças que devem ocorrer para a *Economia Ecológica*, (2) o papel do responsável municipal para a realização da mudança e (3) como a tecnologia *blockchain* pode apoiar na transição para um novo modelo:

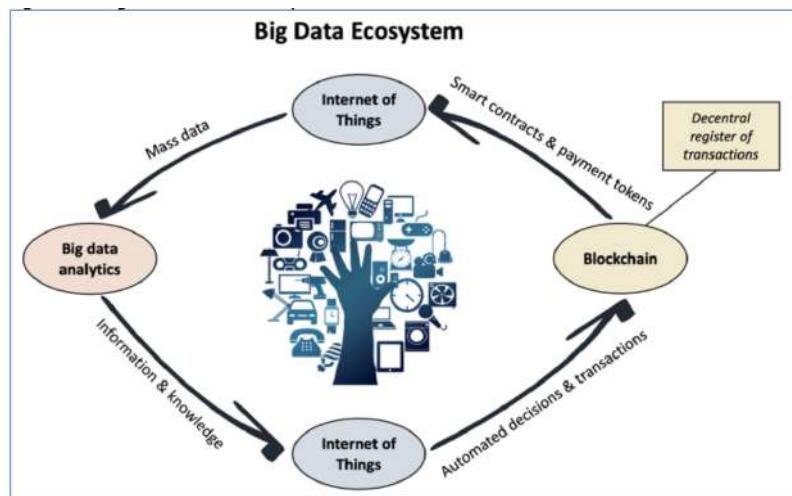
FIGURA 6 - Níveis de mudança de papéis de atores na gestão de resíduos sólidos urbanos e a arquitetura *blockchain*



Fonte: LENZ, 2021.

O autor também chega a exemplificar o ecossistema formado pelo fluxo de *big data* e informações geradas pela IoT. Por meio de sensores e outras tecnologias capazes de coletar dados, uma grande quantidade de dados é gerada, a partir da qual é possível analisar cenários e situações. A partir dessas análises e a geração de informações, é desenvolvido um conhecimento que é aplicado em novas estruturas tecnológicas que ditarão transações e decisões automatizadas, por meio de *smart contracts* ou pagamento em *tokens*. Nesse fluxo, o registro descentralizado de transações na *blockchain* possibilita o fluxo desses dados, a sua transformação em informações e sua canalização digital.

FIGURA 7 - Big Data e o ecossistema IoT



Fonte: LENZ, 2021.

As discussões anteriores demonstram que há algumas questões fundamentais que precisam ser resolvidas antes que as aplicações da tecnologia *blockchain* no setor de resíduos possam ter os efeitos desejados para apoiar a gestão sustentável de resíduos. Existem várias limitações em relação à utilização da *blockchain*, tanto a nível estrutural quanto a aplicações específicas na gestão de resíduos (TAYLOR; STEENMANS; STEENMANS, 2020). Seguem alguns esses desafios:

- Questões de implementação e viabilidade:** a crise da geração de resíduos não será resolvida com a implementação da *blockchain*. A coleta de dados não necessita, necessariamente, de um sistema baseado na *blockchain*. De fato, a tecnologia é adequada para operações em que não é necessário - e, às vezes, nem possível - ter uma

autoridade central confiável, o que não ocorre no caso na gestão de resíduos, pois há agências governamentais que necessitam regulamentar as ações para garantir a veracidade dos dados. Nesse caso, por exemplo, a *blockchain* poderia ser substituída por uma base de dados centralizada gerida pela autoridade central de confiança (TAYLOR; STEENMANS; STEENMANS, 2020).

Além disso, aqui, considera-se a gestão de resíduos já gerados. O impacto direto da aplicação da *blockchain* é, portanto, assegurar a sua gestão e destinação adequada. No entanto, uma das principais preocupações e objetivos da *Economia Ecológica* é a prevenção da geração de resíduos. De qualquer forma, é certo que os dados armazenados na *blockchain* não permitem a redução da geração de resíduos, mas podem ser utilizados para basear a formulação de leis e políticas com enfoque na ação preventiva (TAYLOR; STEENMANS; STEENMANS, 2020) ou no engajamento relacionado a comportamentos ambientalmente corretos - como os mecanismos de incentivo por meio da tokenização, já explorados anteriormente.

Outro ponto que impacta a viabilidade da implementação da arquitetura é a dificuldade de realizar a manutenção e a atualização do sistema devido à quantidade de dados produzidos a todo momento pelos milhões de cidadãos, milhares de contentores inteligentes, centenas de caminhões e dezenas de empresas e municípios, além da existência de diferentes contratos inteligentes que executam diferentes tipos de transações o tempo todo (DAMADI; NAMJOO, 2021);

- b) **Input e qualidade de dados:** uma das premissas mais importantes é a inserção de dados corretos em plataformas em arquitetura *blockchain*, pois como ela não pode ser editada, é possível que dados incorretos sejam adicionados em novos blocos e não poderão ser facilmente corrigidos. Se dados incorretos forem registrados na *blockchain*, podem levar a tomadas de decisões errôneas e impactar o planejamento dos recursos direcionados à gestão de resíduos. Portanto, é um desafio para os sistemas de gestão de resíduos impedir a introdução de dados incorretos que seriam armazenados permanentemente na *blockchain* e que, consequentemente, "poluiriam o banco de dados".

Assim, deveriam ser propostas novas soluções para melhoria da qualidade dos dados. Uma solução possível poderia ser a implementação de mecanismos de controle rigorosos para garantir a inserção de dados corretos. Para Ahmad et al. (2021), para minimizar o *input* de dados incorretos na blockchain, os municípios deveriam ser responsáveis pelo desenvolvimento, manutenção e adaptação das arquiteturas e infraestruturas;

- c) **Custos da implementação da arquitetura:** apesar dos benefícios se sobreponem a esse ponto, devem ser considerados os potenciais custos iniciais envolvidos na implementação da *blockchain* (UPADHYAY et al., 2021). Além disso, não poderia deixar de citar o gasto energético que operações em *blockchain* demandam - uma temática que chamou muita atenção, mas que já está em análise e apresenta avanços positivos alinhados ao fortalecimento das energias renováveis e processos mais eficientes (em termos de uso de energia);
- d) **Dificuldades na responsabilização pelos resíduos:** a *blockchain* não ajuda a definir quem tem a responsabilidade - financeira, jurídica, física, etc. - por quaisquer resíduos. A responsabilidade deve ser definida por leis e políticas, mas existem diversas zonas cinzentas referentes a esse ponto - como no caso da *Responsabilidade Compartilhada*, da PNRS, abordada anteriormente -, pois, embora os contratos inteligentes definam as premissas da execução de transações, o seu objeto (os resíduos) e os seus termos (os pré-requisitos para a execução) ainda devem ser definidos pelas partes envolvidas, o que pode ser problemático devido ao conflito de interesses (TAYLOR; STEENMANS; STEENMANS, 2020);
- e) **Identificação de resíduos em diferentes fases de seu ciclo de vida:** o registro de resíduos na *blockchain* exige que os resíduos individuais ou em maior quantidade sejam repetidamente identificados e registrados em fases distintas de seu ciclo de vida na cadeia de reciclagem, por exemplo, ao serem coletados e ao chegarem na destinação final. Esse registro não é garantido, pois podem haver resíduos fragmentados ou em condições não previstas - sem códigos QR ou etiquetas RFID. Outra possibilidade que impacta a operação é a junção de fluxos de resíduos, o que inviabiliza manter a identidade das características específicas dos resíduos. Uma

alternativa seria tratar e avaliar os resíduos em lotes e por tonelada desde o princípio da operação, com uma identidade digital para o lote e não para as peças individuais (TAYLOR; STEENMANS; STEENMANS, 2020);

- f) **Preservação da privacidade dos dados e das transações:** a utilização de plataformas públicas de *blockchain* para a digitalização das operações de gestão de resíduos em cidades enfrenta muitos desafios relacionados à garantia da conformidade com as leis do regulamento geral de proteção e privacidade de dados (AHMAD et al., 2021).

As plataformas públicas de *blockchain* são mais vulneráveis a "ataques", tendo em vista que as transações, os pseudônimos e outros dados dos usuários estão publicamente disponíveis, enquanto as *blockchains* privadas funcionam em um ambiente controlado, sendo mais seguras e podendo preservar a privacidade dos dados de gestão de resíduos por meio de canais privados, além de garantir o anonimato das transações (AHMAD et al., 2021);

- g) **Vulnerabilidades dos contratos inteligentes:** há alguns desafios relacionados aos contratos inteligentes baseados em *blockchain*, sendo um deles a sua irreversibilidade após a sua implementação, pois por serem armazenados de forma imutável na *blockchain*, não podem ser modificados pelos programadores para atender a novos requisitos comerciais e políticas de negócios após a sua implementação prévia, o que é visto pelas organizações como uma dificuldade pós-implementação dos contratos inteligentes (AHMAD et al., 2021). Por conseguinte, é fundamental a realização de testes - com tecnologias de análise de segurança - relacionados aos contratos inteligentes antes da sua implementação.

- h) **Requisitos de armazenamento da blockchain como impedimento do desenvolvimento de aplicações escaláveis para a gestão de resíduos:** a capacidade de armazenamento das atuais *blockchains* públicas representa um desafio, pois estas não são escaláveis ao ponto de conseguirem tratar uma quantidade tão grande de dados gerados pelas soluções baseadas na IoT. Os processos de monitoramento da coleta, transporte, segregação, transporte e destinação de resíduos geram uma grande quantidade de dados. Esses dados - como os tipos de resíduos coletados, a localização

em tempo real dos resíduos transportados, os locais de reciclagem/aterros sanitários e a rota de transporte seguida pelos caminhões de transporte de resíduos - podem assumir várias formas, como imagens ou documentos que asseguram que as atividades de gestão de resíduos cumprem as leis locais e globais de proteção ambiental e segurança humana. Esses dados são gerados por milhares de sensores instalados em cidades inteligentes - e armazenados na *blockchain* - para a realização de um monitoramento contínuo das movimentações dos resíduos. Cada *node* da rede *blockchain* armazena uma cópia dos dados gerados, o que causa uma sobrecarga na capacidade de armazenamento da *blockchain* (AHMAD et al., 2021);

- i) **Interoperabilidade e integração com os sistemas legados:** a indústria de gestão de resíduos envolve várias tecnologias, dispositivos, sensores, componentes e organizações que trabalham - ou deveriam trabalhar - em colaboração para resolver as questões relacionadas com a coleta, segregação, transporte e destinação de resíduos nas cidades. Dessa forma, as futuras *blockchains* devem ser capazes de serem integradas aos sistemas antigos e existentes de gestão de resíduos a fim de possibilitar o controle e gestão das diversas operações das partes interessadas da cadeia de forma eficaz.

As partes interessadas, por terem objetivos concorrentes entre si - e pertencerem a diferentes organizações -, desenvolvem sistemas próprios de gestão. Assim, para a otimização dos processos, deve ser possível estabelecer meios em que as partes possam, de uma forma coordenada, se comunicar, o que pode ser atendido pela característica de interoperabilidade da *blockchain*, que permite que as organizações de gestão de resíduos que utilizam plataformas distintas estejam presentes em uma arquitetura *blockchain* que possibilite a interação e compartilhamento de dados entre si de forma contínua, segura, eficiente e sem intervenções (AHMAD et al., 2021);

- j) **Gestão de incentivos, adoção e receptividade lenta da tecnologia *blockchain*:** pode haver resistência na adoção da *blockchain*, tanto do setor público quanto do setor privado, uma vez que esta impacta diretamente na transparência das operações das empresas e dos governos - que costumam resistir a processos com esse fim. Na gestão de resíduos das cidades, estão envolvidas diversas partes interessadas com estruturas e

cenários distintos, o que dificulta a implementação da arquitetura, que é dependente da aceitação, entendimento, uso contínuo e engajamento de todas as partes interessadas em relação a essa nova forma de gestão. Para a adoção e implementação bem-sucedida da *blockchain*, podem ser pensados incentivos com o objetivo de motivar as organizações a cooperarem para uma melhor adaptação à arquitetura.

A adoção da *blockchain* também exige o estreitamento entre as partes e sua cooperação e coordenação para que as fraudes relacionadas às manipulações de dados, por exemplo, sejam minimizadas. Embora os sistemas tradicionais sejam considerados mais baratos, rápidos e mais flexíveis em comparação com as soluções de gestão de resíduos baseadas em *blockchain*, são vulneráveis a ameaças de segurança e não proporcionam transparência de dados, privacidade, visibilidade e tolerância a falhas. Por fim, é importante destacar que a legislação e a regulamentação relativas à *blockchain* ainda não são maduras, o que pode afetar a sua adaptabilidade ao setor de gestão de resíduos (AHMAD et al., 2021), assim como a própria legislação de resíduos ainda enfrenta dificuldades de implementação e pode impactar na aplicabilidade da *blockchain*, por ainda não serem bem delineadas.

Apesar dos desafios a serem enfrentados, a *blockchain* pode sustentar todo o sistema de gestão de resíduos e permitir a concretização da *Economia Ecológica*, conjuntamente com outras tecnologias como a IoT, a computação em nuvem, os sistemas de informação geográfica, entre outros. Devido à sua capacidade de garantir a transparência, a imutabilidade dos dados e o consenso entre as partes interessadas envolvidas, a estrutura de dados distribuídos e compartilhados tem ganhado popularidade em diversos setores, mas os seus potenciais para com a gestão de resíduos são promissores em termos de rastreio e compartilhamento de informações, principalmente.

5. PLATAFORMAS EM ARQUITETURA BLOCKCHAIN PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS

Tendo em vista os inúmeros desafios enfrentados devido à geração de resíduos, surgiram diversas *startups*, empresas, iniciativas e projetos que aplicaram a arquitetura *blockchain* na criação de soluções para a gestão de resíduos.

O objetivo da última seção deste trabalho é apresentar um breve mapeamento e descrição de plataformas e sistemas em arquitetura *blockchain* de empresas - *startups* ou não - que têm implementado suas soluções com o objetivo de solucionar algum dos desafios da gestão de resíduos. Por meio da breve e anterior apresentação dos benefícios, limitações e viabilidade da *blockchain* para a gestão de resíduos, é possível realizar paralelos dos projetos que já foram implementados, ou dos que estão em fase de implementação. Apesar das limitações e desafios de implementação da arquitetura, fica claro como a *blockchain* gera valor nas soluções com o que pode oferecer - registros transparente de dados, seguros, imutáveis e confiáveis armazenados em uma *blockchain* que podem ser acessíveis tanto por governos, empresas e a sociedade civil. Há diversos aspectos que poderiam ser explorados nesse mapeamento. Contudo, foram destacados apenas os objetivos das aplicações da arquitetura.

A seguir, são apresentadas as empresas e, brevemente, descritas as suas soluções baseadas na arquitetura *blockchain* para a gestão de resíduos:

1. Bee2WasteCrypto

O Bee2WasteCrypto foi um projeto que visou promover um comportamento sustentável da sociedade civil ao compensar indivíduos que atuassem corretamente na separação e no descarte de resíduos por meio de incentivos econômicos baseados em *tokens* (criptomoedas). Além disso, a fim de otimizar os serviços públicos regionais de gestão de resíduos em relação aos objetivos nacionais referentes às taxas de reciclagem para cada fluxo de materiais, contemplou o desenvolvimento de sistemas facilitadores da lógica *Pay As You Throw* (PAYT) e da geração de "créditos de taxa de reciclagem" - com base no desempenho dos serviços públicos -, por meio da análise regional da quantificação e caracterização da

produção de resíduos na fonte. A *blockchain* assegurou a confiabilidade dos dados que credibilizava e baseava tanto o incentivo econômico por meio de *tokens* quanto as análises dos serviços públicos. O projeto, realizado por meio de um Consórcio entre o Instituto Superior Técnico de Lisboa (IST), a *Carnegie Mellon University* (CMU), NOVA *Information Management School* (NOVA IMS), FUTURE COMPTA e 3Drivers, teve início em maio de 2020 e término em outubro de 2022, e nenhuma atualização relacionada à sua implementação foi encontrada.

2. BanQu

A BanQu é uma empresa que tem como objetivo combater a pobreza extrema e tornar as cadeias de suprimentos mais transparentes, rastreáveis e, principalmente, mais justas para os(as) trabalhadores(as) que as sustentam - como produtores rurais e catadores de resíduos -, ao buscar melhorar as condições de vida e oferecer oportunidades para aqueles que estão em situação de extrema pobreza. Para permitir a conexão entre as pessoas, marcas, organizações e governos e as cadeias de suprimentos globais em que estão envolvidas, a BanQu desenvolveu uma plataforma SaaS em arquitetura *blockchain* que possibilita a rastreabilidade e conformidade socioambiental, econômica e legal por meio da coleta de dados em tempo real relacionados a todas as etapas da cadeia de fornecedores, desde o produtor até o consumidor final. Devido à *blockchain*, a plataforma garante a proteção e geração segura de dados, a criação de relatórios auditáveis, facilita a gestão da cadeia ao garantir a visibilidade e controle do ciclo de vida dos produtos desde a extração das matérias-primas até a sua destinação, além de possibilitar a transparência entre os entes envolvidos, pois a plataforma reúne informações desagregadas da fonte da matéria-prima à "prateleira do mercado" - tendo em vista que a tecnologia da BanQu permite o registro geolocalizado que dá visibilidade aos materiais transacionados, e de quem e do que esteve envolvido no processo. Com essas informações, as cadeias de fornecedores podem se tornar mais resilientes e alcançar o *compliance* em suas operações. A plataforma também pode melhorar a previsibilidade do abastecimento de matérias-primas, ajudar as empresas a arcarem com suas responsabilidades, como o cumprimento dos regulamentos legais, as certificações exigidas e as normas setoriais e industriais.

A BanQu contribui para a economia formal de reciclagem ao possibilitar o reconhecimento do valor do setor informal para a cadeia de reciclagem e promover a formalização dos catadores de materiais recicláveis no setor de gestão de resíduos e o seu empoderamento, ao fornecê-los, por meio de mensagens SMS, um "Passaporte Econômico", que garante a prova de entrega dos resíduos coletados, a confirmação de pagamento (na moeda local) e histórico de trabalho. Por meio da plataforma, por exemplo, os catadores de resíduos recebem pagamentos de forma segura e podem registrar as suas transações e os seus ganhos, o que os permite construir um histórico financeiro que pode ser utilizado para validar a sua participação na cadeia de fornecimento global de forma a eliminar o risco associado às transações em dinheiro, proporcionar o apoio financeiro direto e dá-los acesso aos créditos relacionados aos materiais coletados. A BanQu tem sido uma plataforma eficaz para marcas alcançarem metas de sustentabilidade na agricultura, reciclagem e direitos humanos, além de oferecer soluções para problemas intrínsecos ao setor, como igualdade de gênero e a redução da pobreza.

3. CircularChain

A CircularChain, da SUEZ, é uma solução baseada em blockchain que possibilita o registro de todas as etapas do tratamento de lamas de depuração¹⁵ - desde a produção até a sua utilização final pelo setor agrícola - e garante a rastreabilidade da matéria orgânica, a transparência e o armazenamento das informações de forma confiável e à prova de falsificação. A plataforma viabiliza o compartilhamento, a consolidação de dados e a visibilidade das informações entre as partes envolvidas - os produtores de lamas de depuração e os agricultores. Assim, com a digitalização dos dados operacionais, os produtores podem supervisionar de forma independente o processo de recuperação e monitorar o setor de forma dinâmica.

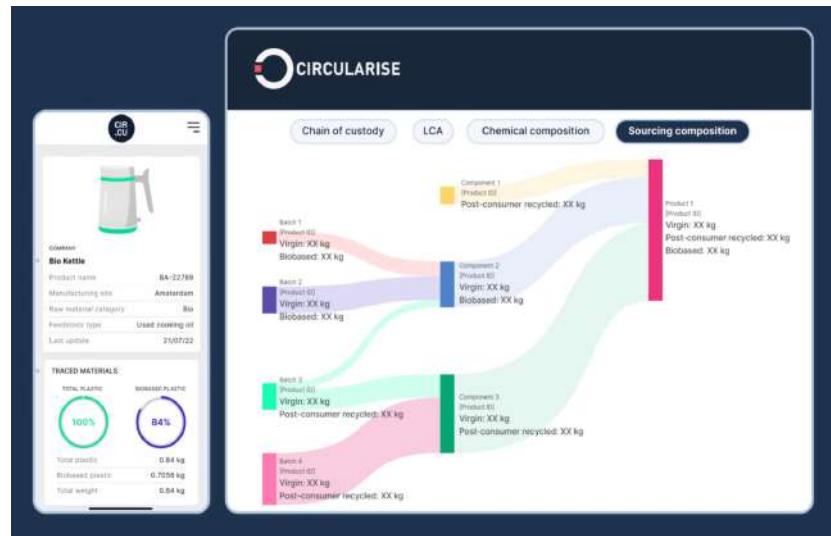
¹⁵ Segundo informações do site da SUEZ, anualmente, na França, a reutilização das lamas de depuração evita a emissão de 35.000 toneladas de azoto, a extração de 30.000 toneladas de fósforo, apoia a agricultura e reduz as emissões de GEE - tanto do tratamento da água como da agricultura. A reposição da matéria orgânica no solo é um exemplo prático da eco-economia, pois evita o uso de produtos químicos por parte dos agricultores ao transformar os resíduos orgânicos em corretivos agrícolas do solo.

4. Circularise

A Circularise desenvolveu uma plataforma baseada em *blockchain* que possibilita a troca segura de dados entre atores envolvidos em cadeias de suprimentos industriais. O objetivo da plataforma é tornar a cadeia de fornecedores transparente e controlada, ao permitir que produtos e materiais sejam rastreados desde a origem, dos processos de produção até a sua reciclagem - com a coleta de dados relacionados a emissões de GEE, certificados e outros fatores. A plataforma cria uma proximidade entre os elos da cadeia e possibilita a verificação das matérias-primas dos produtos sem comprometer informações sensíveis e sigilosas devido à *blockchain*, que assegura a privacidade e confidencialidade dos dados compartilhados. Em seu *White Paper*, a empresa destaca um cenário de uso da plataforma relacionado à reciclagem de um *tablet*, sobre o qual um ator A tem o interesse de saber se o produto contém ou não materiais e/ou peças específicas (ex.: elementos perigosos), a fim de direcionar o produto para o processo de reciclagem ideal¹⁶. O *software* permite que empresas de reciclagem (nesse caso, o ator A, por exemplo) se conectem e obtenham informações dos entes na cadeia de valor (ex.: fabricantes) sobre os materiais contidos em produtos, para que tomem decisões adequadas de reciclagem por meio de uma dinâmica de "perguntas e respostas" (*Smart Questioning*), baseada em uma arquitetura *blockchain* de encriptação única - um processo que hoje é realizado em um formato não escalável e manual, como via *e-mails*. Assim, os entes da cadeia acessam informações relacionadas ao ciclo de vida dos produtos de forma holística devido à possibilidade de coletar informações sobre a origem dos componentes de produtos de uma cadeia específica de fornecedores e acompanhar as etapas desde a extração da matéria-prima até a reciclagem do produto.

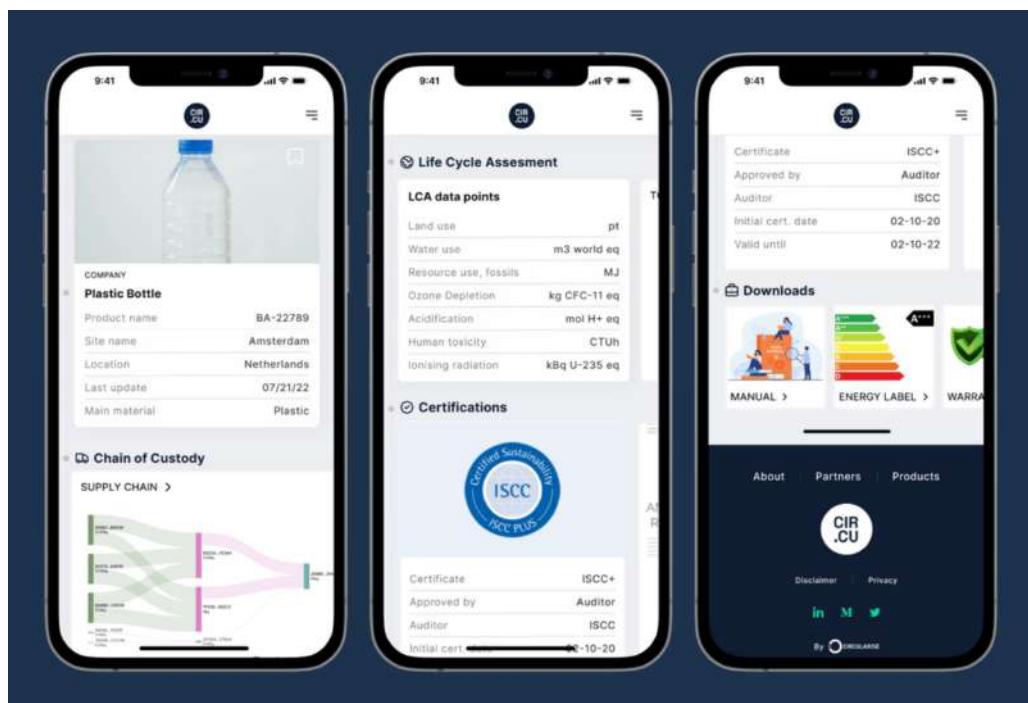
¹⁶ Segundo o site da Circularise, hoje, diversos produtos são enviados para fábricas de reciclagem e, pela falta de dados e informações acessíveis pelos recicladores, muitos recursos acabam sendo incinerados e desperdiçados. Muitas vezes, esses materiais podem ter aterros sanitários como destino final. Ao não saberem os materiais constituintes dos produtos, sua origem e periculosidade, são inúmeros os impactos negativos ambientais, como a emissão de gases tóxicos e poluição de lençóis freáticos.

FIGURA 8 - A plataforma da Circularise permite a rastreabilidade das matérias-primas e componentes de produtos



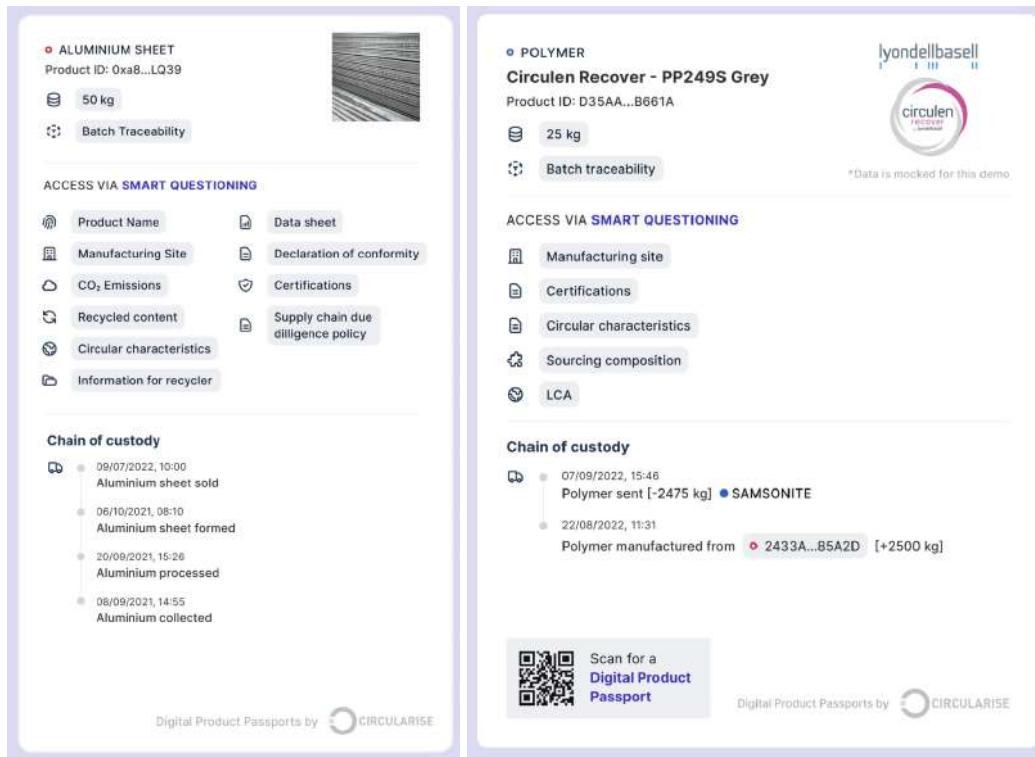
Fonte: Circularise (2023).

FIGURA 9 - Além de evidenciar a cadeia de fornecedores, a plataforma da Circularise permite a rastreabilidade de certificações, a avaliação de ciclo de vida e a gestão de outros dados e informações relacionadas ao produto



Fonte: Circularise (2023).

FIGURA 10 - A Circularise permite a visualização de "Passaportes Digitais de Produtos", por meio dos quais é possível rastrear as ações da cadeia de fornecimento e realizar a conexão com entes da cadeia para o esclarecimento de questões relacionadas à composição de produtos e outros aspectos via a tecnologia *Smart Questioning*



Fonte: Circularise (2023).

5. Circulor

A Circulor é uma empresa que oferece soluções de rastreabilidade para empresas que visam a análise, acompanhamento e gestão da cadeia de suprimentos complexas, por meio de um *software* baseado na arquitetura *blockchain*, que permite promover o fornecimento responsável de matérias-primas, monitoramento das emissões de GEE da cadeia e a sustentabilidade das operações e dos fluxos de materiais. A solução da Circulor já possibilitou o rastreio do mineral tântalo (de Ruanda) - um mineral raro utilizado na fabricação de produtos eletrônicos - desde a sua mineração até o fabricante dos produtos que utilizam a matéria-prima, e garantiu que havia sido extraído, transportado e processado em condições éticas e aprovadas pela OCDE, sem trabalho infantil ou análogo à escravidão. Muitos dos

problemas encontrados nas indústrias extractivas seriam minimizados se as taxas de reciclagem aumentassem, uma vez que isso reduz a dependência de materiais novos e recém-minerados. A redução da quantidade de resíduos gerados ao longo das cadeias de fornecedores e pós-consumo e a melhoria do tratamento de produtos já em fim de vida são essenciais para a construção de uma *Economia Ecológica*, em que os resíduos são reduzidos, os recursos são conservados e reintroduzidos na cadeia de abastecimento de novos produtos. Dessa forma, as soluções da Circulor também foram desenvolvidas com o objetivo de serem aplicadas para promover a reciclagem e a recuperação de materiais e já estão sendo implementadas para o rastreio da reciclagem de produtos eletroeletrônicos, plásticos e baterias de veículos elétricos. Os dados de rastreabilidade também provam que o processo de reciclagem ou de outra destinação foi conduzido de forma responsável.

6. Cirplus

O Cirplus é um mercado global digital (*marketplace*) que facilita a compra e venda de plásticos reciclados e resíduos de plásticos recicláveis e atua como um catalisador digital da *Economia Ecológica*. Atualmente, grande parte dos produtos descartáveis tem em sua composição diferentes tipos de plásticos, o que dificulta a reciclagem e a produção de reciclados valiosos. Ao mesmo tempo, o baixo nível de digitalização no setor dificulta a visão de compradores e vendedores em relação ao material disponível e à sua precificação. Para atender a esse desafio, a plataforma Cirplus conecta os mercados espalhados dos vendedores de resíduos com recicladores e distribuidores. Com o objetivo de promover a *Economia Ecológica*, reduzir os custos de transações, tornar as operações comerciais de plásticos mais eficientes e criar incentivos econômicos sólidos para que a cadeia de valor valorize mais o plástico reciclado do que o virgem, as indústrias de plástico e reciclagem são conectadas por meio de uma plataforma B2B (*business to business*) avançada. A plataforma possibilita encontrar, negociar, contratar, enviar e pagar por plásticos reciclados em todo o mundo. O *marketplace* da Cirplus utiliza tecnologias como inteligência artificial e arquitetura *blockchain* para criar transparência, rastreabilidade e padrões na indústria de plásticos.

7. Eiravato

A Eiravato é uma plataforma de gestão de resíduos que utiliza tecnologias como a inteligência artificial e a arquitetura *blockchain* para ajudar as organizações a coletarem, organizarem e analisarem, de forma global e em tempo real, seus dados sobre resíduos, energia, água e fornecedores. A plataforma permite que as organizações tenham total visibilidade e controle sobre a sua gestão de resíduos de forma a garantir a conformidade com as normas e regulamentações locais e internacionais, e oferece recursos como rastreio e acompanhamento do ciclo de vida dos materiais, visualização dos dados em painéis de desempenho e relatórios personalizáveis - a serem enviados aos líderes globais a fim de informá-los com estatísticas, informações e métricas.

A plataforma capacita a indústria a transformar resíduos em recursos de alto valor com vantagens comerciais ao permitir a reclassificação dos resíduos em recursos e possibilita o rastreio e acompanhamento do ciclo de vida dos materiais por meio da *blockchain* - o que permite que as empresas capturem materiais antes de se tornarem resíduos, o que pode otimizar o percurso dos materiais ao longo das fases do seu ciclo de vida, desde a concepção do produto, a extração de recursos naturais, a criação de resíduos, até o comércio de novos materiais. A plataforma Eiravato também ajuda as organizações no alcance de metas empresariais, na redução de suas emissões de GEE decorrentes de sua operação, na redução de custos e na criação de novas oportunidades de negócios, pois, ao organizar os dados de resíduos globalmente, a tomada de decisões informadas é possibilitada.

A plataforma Eiravato também permite a gestão e conexão com fornecedores de resíduos e materiais ao oferecer funcionalidades que viabilizam o envio de propostas com base em dados precisos e atualizados em tempo real sobre os resíduos.

8. Empower

A plataforma digital da Empower possibilita a realização de *crowdsourcing* para a coleta e segregação de resíduos plásticos e incentiva a ação comunitária por meio de recompensas. A cada euro doado por uma organização ou uma pessoa física, a Empower se

compromete a destinar corretamente a mesma quantidade de resíduos plásticos (por peso) e utiliza *tokens* baseados na arquitetura *blockchain* para promover a reciclagem incentivada por doações. Os créditos de plástico, gerados pelos catadores que recolhem o plástico e documentam integralmente o processo e os materiais recolhidos na plataforma da Empower, criam empregos para os trabalhadores marginalizados e ajudam a envolver os clientes em uma narrativa, pois, além de 100% da arrecadação ser direcionada diretamente aos catadores associados a operações específicas de limpeza, são fornecidas aos doadores fotografias, localização geográfica, registros de data e hora, histórias e certificados verificáveis com informações sobre o impacto ambiental de sua contribuição relacionada a cada crédito.

A *startup* também oferece gestão de matérias-primas e certificação de materiais recicláveis, além de "Passaportes Digitais de Produtos" que permitem o rastreio e verificação da origem e do percurso dos materiais, desde a operação específica de coleta, a composição dos plásticos coletados até ao destino final. Por meio da tecnologia *blockchain*, cada etapa do processo de reciclagem é monitorada e rastreada, o que garante transparência e confiabilidade à operação.

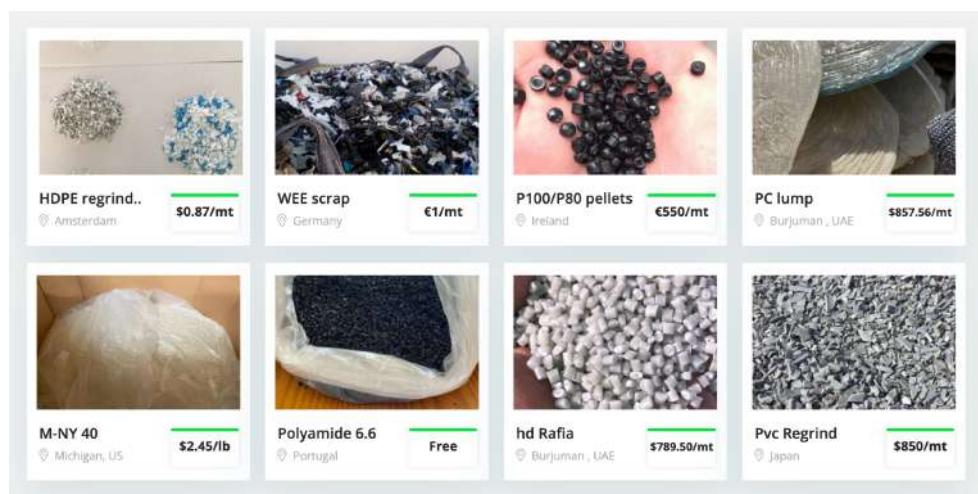
FIGURA 11 - Exemplo de um "Passaporte Digital de Produto" da Empower, que disponibiliza dados relacionados ao impacto social relacionado à coleta de resíduos plásticos utilizados para a produção da cadeira, as certificações, a origem do plástico e outros dados referentes à operação



Fonte: Empower (2023).

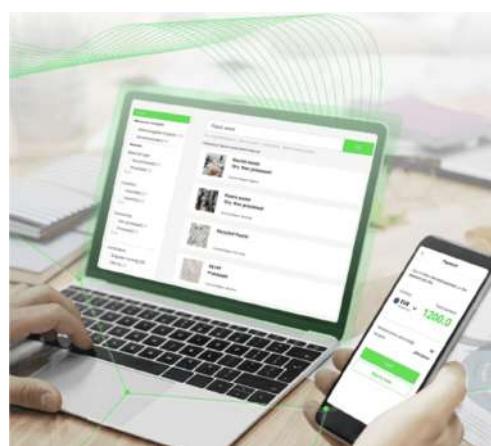
A Empower também atua como um mercado (*marketplace*) para a compra e venda de plásticos reciclados certificados, ao permitir a conexão entre recicladores e compradores internacionais. A plataforma garante a autenticidade e a proveniência de cada resíduo por meio da tecnologia de rastreabilidade e verificação baseada na *blockchain*. Cada etapa do processo é monitorada por meio da arquitetura *blockchain*, desde a coleta do plástico na fonte, o processo de triagem, até a sua reciclagem e reintegração na cadeia de fornecedores.

FIGURA 12 - O *marketplace* da Empower conecta os entes envolvidos na cadeia de reciclagem de resíduos plásticos de forma global.



Fonte: Empower (2023).

FIGURA 13 - Tela do *marketplace* da Empower, também acessível via aplicativo.



Fonte: Empower (2023).

O plástico negociado no *marketplace* da Empower tem proveniência verificada, com todas as etapas registradas, documentadas, verificadas e rastreadas - e contempla os dados de impacto social e ambiental do percurso de cada material, desde a coleta inicial do plástico até a sua listagem no *marketplace*. Consequentemente, o plástico é certificado e, por esse motivo, tem um preço por tonelada mais elevado. A tecnologia de rastreabilidade baseada em *blockchain* garante a verificabilidade e a autenticidade de forma transparente e rastreável de cada volume de plástico e faz com que os dados não possam ser alterados por ninguém, o que pode reduzir a corrupção no setor.

9. GreenPlat

Fundada em 2016, a GreenPlat™ foi a primeira *startup* ambiental a integrar a arquitetura *blockchain* em suas soluções e, além dos diversos reconhecimentos como GreenTech, CleanTech e GovTech, em 2018, recebeu o prêmio *Technology Pioneer*, concedido pelo Fórum Econômico Mundial, devido ao uso da *blockchain* em seus softwares utilizados tanto pelo setor público quanto pelo setor privado. A GreenPlat desenvolveu a PlataformaVerde™, um SaaS com arquitetura *blockchain* que possibilita o setor privado a rastrear, monitorar e gerir os seus resíduos por meio da geração de dados e controle de indicadores em tempo real. O *software* controla desde a extração de matéria-prima, os processos industriais de produção até a destinação de resíduos de organizações, e possibilita o monitoramento de toda a cadeia de suprimentos, além da gestão de dados relacionados ao consumo de água e energia. Além de reduzir e controlar as perdas produtivas, suas movimentações internas e externas de resíduos, suas filiais e seus parceiros, a plataforma também possibilita as empresas e indústrias a se beneficiarem de todo o conhecimento jurídico ambiental disponível no *software*, que viabiliza o controle de todas as legislações, certificados, licenças e documentos pertinentes de toda a sua cadeia de relacionamentos e de fornecedores. Por meio da plataforma, é possível emitir documentos legais - como o Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR)¹⁷ - integrados a sistemas públicos brasileiros, gerar relatórios gerenciais e visualizar os dados das movimentações de resíduos em tempo real. A *startup* atende organizações de diversos setores e, por meio de sua frente relacionada ao setor público, também implementou *softwares* direcionados para a

¹⁷ O Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) é um documento legal que deve ser emitido, obrigatoriamente, pelos grandes geradores todas as vezes em que os seus resíduos forem movimentados. Por meio do MTR, é possível mapear o transportador e o destino final relacionados à operação. Na cidade de São Paulo, são considerados grandes geradores as organizações que geram mais de 200 litros de resíduos sólidos por dia.

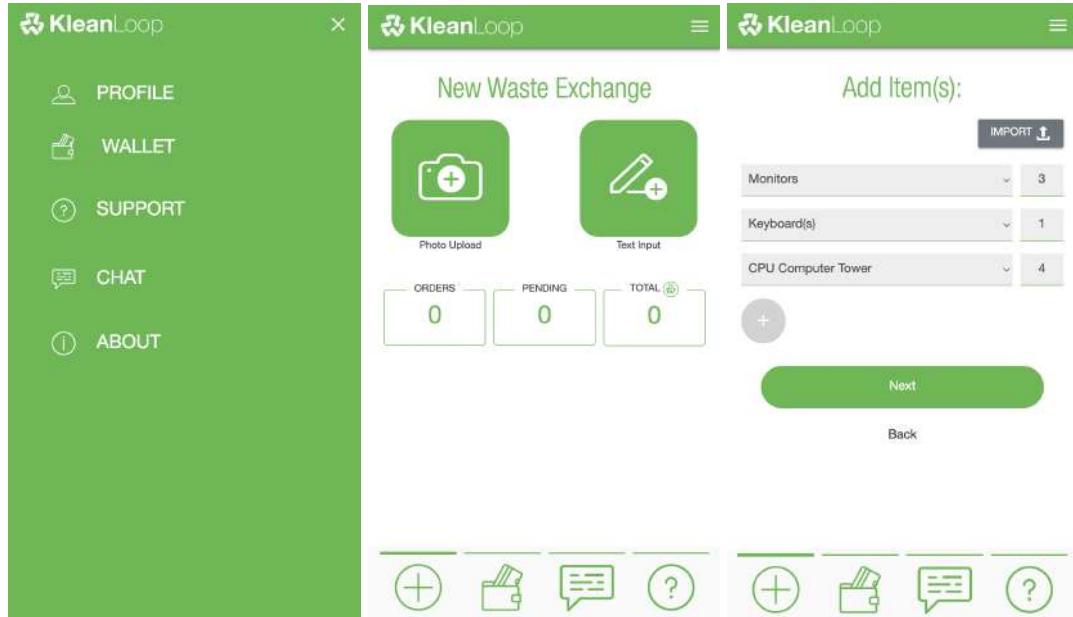
gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) coletados pelos municípios, de resíduos de construção civil (RCC) e de sistemas de Logística Reversa.

O *software* da GreenPlat apresenta diversas funcionalidades e possibilita a concentração de informações dispersas dos geradores, operadores logísticos, fornecedores, fábricas e de documentos legais, além de disponibilizar módulos específicos de outras frentes da gestão de resíduos, como a Logística Reversa. No ano de 2023, a *startup* lançou a PlataformaAzul™, uma plataforma SaaS de gestão hídrica para empresas de tratamento de água e efluentes.

10. KleanLoop

A KleanLoop é uma plataforma SaaS descentralizada em arquitetura *blockchain* que permite os usuários da plataforma a comercializar e comprar resíduos de forma segura e eficiente, com o objetivo de proporcionar um mercado de confiança para a gestão de resíduos e criar um sistema transparente e sustentável para rastrear resíduos e promover práticas responsáveis de destinação e reciclagem. A plataforma conta com uma interface: um aplicativo descentralizado, em inglês, *Decentralised App* (DApp), que permite a coleta e armazenamento de dados em tempo real. As transações são economicamente viabilizadas por meio de um *token* criado, a Klean Coin ICO, com o qual os pagamentos são realizados - é rápido, seguro e com taxas menores do que as relativas ao comércio tradicional. Ao utilizar o DApp, o vendedor tira uma foto dos seus resíduos, o aplicativo calcula um valor e contata um reciclador próximo interessado em comprá-los.

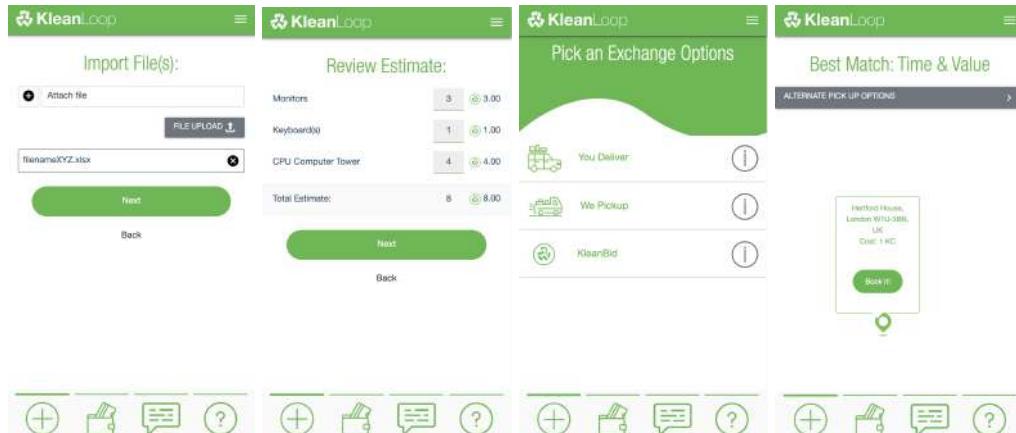
FIGURA 14 - Telas da interface DApp da KleanLoop



Fonte: KleanLoop (2023).

Assim, o reciclador envia um motorista para recolher os resíduos e confirmar o seu valor. Os pagamentos são validados por uma parte independente na *blockchain* e, depois de validados, o motorista, o vendedor e o validador recebem Klean Coins pelos seus esforços.

FIGURA 15 - Telas da interface DApp da KleanLoop



Fonte: KleanLoop (2023).

A plataforma permite acesso em tempo real dos dados relacionados aos resíduos, à logística - o usuário pode escolher transportar ou não os resíduos que vender -, aos pedidos e às informações da compra, à possibilidade de adicionar fotos - que são reconhecidas pelo aplicativo - para que os valores serem mais coerentes e facilitar a venda, ao *marketplace* que possibilita a comercialização de *commodities* e serviços por meio do *token*, e recompensas e incentivos para usuários da plataforma que utilizem o DApp corretamente. Dessa forma, é criado um *marketplace* com soluções econômicas instantâneas, seguro, transparente e capaz de coletar dados do setor em tempo real, pois permite que consumidores, empresas, governos realizem transações *peer-to-peer*, incentivando as ações dos usuários. Na plataforma descentralizada, é possível o compartilhamento de informações de forma distribuída e acessível para geradores, recicladores e reguladores. Portanto, é criado um ecossistema de rede de agentes que participam na gestão e rastreio de recursos, na criação, transporte, reciclagem, reutilização e recuperação de resíduos e, de forma otimizada, permite a agregação de dados em tempo real, de forma descentralizada. O KleanLoop automatiza o fluxo de dados e as transações entre diferentes partes, ao utilizar os contratos inteligentes (*smart contracts*) que verificam a autenticidade dos dados e, assim, proporciona uma economia de custos operacionais.

A plataforma já passou por projetos pilotos em três operações relacionadas à pirólise de pneus, de plásticos e à reciclagem de resíduos eletroeletrônicos, mas o *design* adaptável da plataforma permite a sua utilização por outras indústrias como a automotiva, de construção, engenharia, química e recicláveis/reciclados.

11. PICVISA

A PICVISA desenvolve soluções tecnológicas baseadas em inteligência e visão artificiais, como os separadores óticos ECOSORT, ECOPICK, ECOPACK e ECOGLASS, que permitem classificar e separar automaticamente vários tipos de resíduos por composição, cor ou forma. A PICVISA implementou um projeto com a empresa de reciclagem *Coleo Recycling* para a qual desenvolveu uma máquina que separa automaticamente peças de vestuário têxtil por sua composição química e cor, permitindo classificar até 24 materiais têxteis diferentes ao mesmo tempo. A fim de visualizar dados relacionados à operação, armazená-los e rastrear os resíduos, é utilizada a plataforma

DATA+, em arquitetura *blockchain*.

12. Plastic Bank

O Plastic Bank é uma iniciativa que, desde 2013, tem como objetivo principal a redução da poluição de resíduos plásticos em países como Haiti, Peru, Colômbia e Filipinas, ao mesmo tempo que ajuda a reduzir a pobreza desses países por meio da capacitação e engajamento de grupos marginalizados que têm os resíduos como o seu meio de subsistência. Para a concretização de seu objetivo, a iniciativa realiza pagamentos às pessoas que coletam e movimentam os resíduos plásticos até os centros de reciclagem relacionados ao projeto do Plastic Bank e o material coletado se torna o chamado *Plástico Social*. Os responsáveis pela coleta são recompensados e um dos meios de pagamento são *tokens* digitais, créditos que podem ser utilizados para comprar alimentos, ganhar benefícios, entre outros, por meio do aplicativo do Plastic Bank. As trocas são registradas na plataforma do Plastic Bank, que é baseada na arquitetura *blockchain*, o que permite que a operação seja transparente, as transações e a coleta dos resíduos sejam rastreadas, a renda seja distribuída de forma segura, os relatórios sejam verificados e os dados sejam visualizados em tempo real. Depois de entregues aos centros de reciclagem específicos, os resíduos plásticos são comprados e reciclados por empresas e as suas movimentações são monitoradas em tempo real pela plataforma.

13. TEIMAS

A TEIMAS, especializada em documentações e regulamentações relacionadas à gestão e transporte de resíduos, cria soluções tecnológicas para a gestão de resíduos de forma a atender as entidades envolvidas na cadeia de valor dos resíduos: geradores de resíduos, transportadoras e empresas de gestão de resíduos. A Zero, plataforma digital em arquitetura *blockchain* da TEIMAS, possibilita a gestão dos processos e das operações de geradores e das organizações presentes ao longo de toda a cadeia de gestão de resíduos por meio do controle e rastreio de resíduos desde a sua origem até a sua destinação, além do atendimento legal, emissão de relatórios e certificação do ciclo de vida dos seus resíduos - baseado na *blockchain*.

14. RECEREUM

A Recereum é uma plataforma em arquitetura *blockchain* que tem como modelo de negócio a recompensa - por meio do pagamento com criptomoedas Recereum - das pessoas que realizam a separação correta de resíduos. Quando uma pessoa descarta materiais como vidro, plástico, alumínio, pilhas usadas, papel ou madeira em um ponto de coleta específico da *Recereum*, esta pode escanear um *QR code* específico do local via aplicativo *Recereum* e registrar o seu descarte correto. Dessa forma, cada resíduo separado, como garrafas, latas de refrigerante, pilhas, equipamentos eletroeletrônicos ou embalagens, gera uma quantidade de *tokens Recereum* nas contas pessoais dos usuários que podem ser transferidas em diversos locais, como estações de coleta de recicláveis, máquinas de venda de garrafas e centros de coleta de resíduos, e utilizadas em uma rede de parceiros para a obtenção de descontos relacionados a contas de energia e outros pagamentos, suprimentos e serviços.

A transformação e valorização de resíduos e recicláveis por meio das moedas *Recereum* incentiva os cidadãos a separarem os resíduos de forma adequada. Assim, a plataforma viabiliza a conexão entre pessoas e empresas e serviços municipais. Apesar dos cidadãos serem os usuários do aplicativo, a solução é destinada a empresas de tratamento de resíduos, municípios e empresas que lidam com materiais recicláveis, pois ao coletar resíduos corretamente separados pelos cidadãos, a triagem, uma importante etapa da gestão de resíduos que seria realizada pela empresa ou município, será acelerada e terá os seus custos relativos reduzidos, além de haver um aumento na quantidade de recicláveis coletados.

A *Recereum* utiliza a *blockchain* para garantir a segurança das transações financeiras entre os usuários e regular o ecossistema financeiro criado por meio do registro de todas as transferências de *tokens Recereum* de uma conta para outra.

15. RECYCLEGO

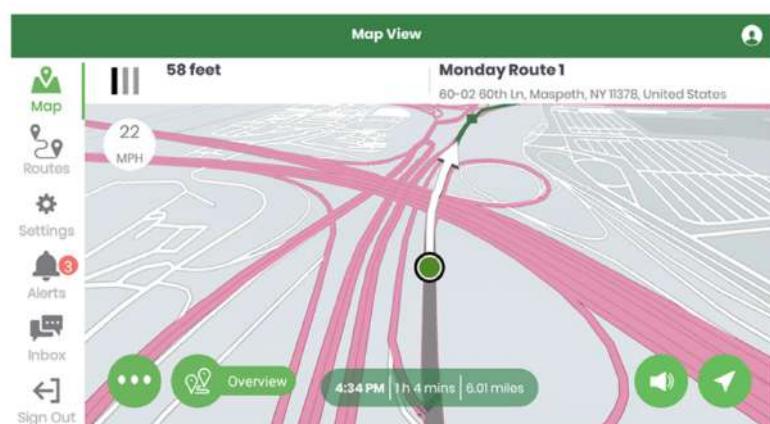
A *RecycleGO* é uma plataforma que permite rastrear e monitorar o ciclo de vida de materiais recicláveis e a cadeia de fornecedores da produção ao consumo e à reciclagem, com o objetivo de garantir a sua destinação adequada. A plataforma é estruturada em uma arquitetura *blockchain*, que possibilita a criação de um registro seguro e escalável para que as

empresas possam gerenciar a logística de suas operações e os impactos da cadeia de reciclagem das quais fazem parte. A plataforma possibilita gerir digitalmente os seus clientes, visualizar e verificar dados relacionados às rotas dos transportadores, veículos, motoristas, ativos e faturamento, além da geração de relatórios e rastreio de desvio de materiais em tempo real.

Além disso, a RecycleGO desenvolveu um aplicativo para simplificar o planejamento de rotas para os motoristas de transporte de resíduos e permitir a realização de pedidos de coleta. Afinal, a plataforma permite que os recicladores coordene as suas operações - como a coleta de resíduos - por meio de atualizações em tempo real relacionadas aos transportes e transportadores.

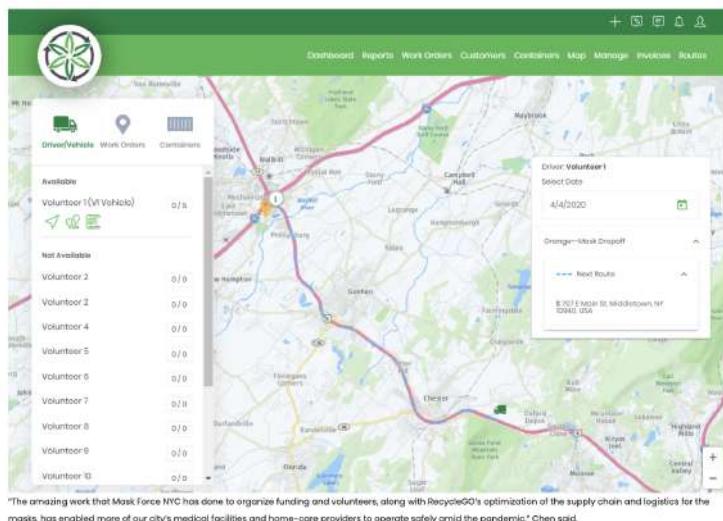
A RecycleGO também permite o rastreio e monitoramento da jornada de um determinado fardo desde o momento em que foi digitalizado até ao momento em que voltou à sua forma de matéria-prima e/ou enviada para recicladores. Após o escaneamento de *QR codes* presentes em fardos de garrafas plásticas, e em outros materiais, as garrafas passam a ser rastreadas por meio da *blockchain* durante o processo de reciclagem, à medida em que esta se desloca ao longo da cadeia de fornecedores, e é transformada em matéria-prima e/ou em mercadorias.

FIGURA 16 - Telas da interface da RecycleGO relacionada à rota do caminhão



Fonte: RecycleGO (2023).

FIGURA 17 - Telas da interface da RecycleGO relacionada à rota do caminhão



Fonte: RecycleGO (2023).

Os dados coletados ao longo da operação podem ser usados para fornecer às empresas métricas valiosas para a sua cadeia de fornecedores, além de identificar gaps a serem corrigidos, otimizar a cadeia de suprimentos, melhorar a eficiência da reciclagem e incentivar as empresas a reciclar mais.

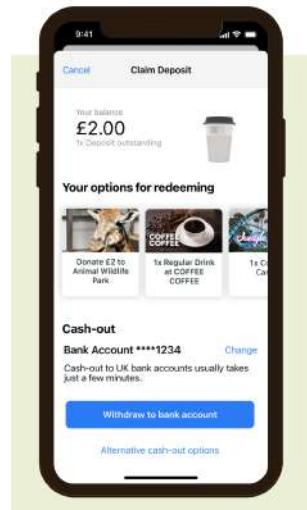
16. RE-UNIVERSE

A re-universe é uma plataforma digital que incentiva as pessoas a descartarem os seus resíduos corretamente visando a sua reutilização e/ou reciclagem, por meio de soluções digitais como o *Digital DRS (Deposit Return System)* conjuntamente com um aplicativo que garante transparência, imutabilidade, rastreabilidade e responsabilidade à cadeia de fornecedores.

A re-universe desenvolveu um sistema e uma operação replicável relacionada ao descarte de copos retornáveis. Foram incluídos códigos de identificação únicos em cada copo retornável e também em pontos de coleta específicos do projeto. No momento do descarte, as pessoas digitalizavam o código de identificação do ponto de coleta e, depois, digitalizavam o código de identificação único do(s) seu(s) recipiente(s) de bebidas - para que pudessem

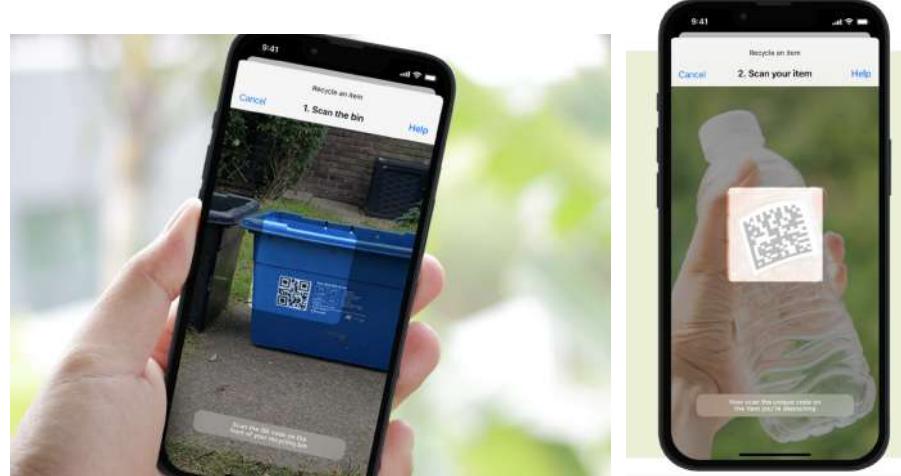
acompanhar o percurso do copo retornável até a reciclagem e/ou sua eventual reutilização. Em seguida, a reciclagem é registrada e o aplicativo reembolsa o usuário por meio de créditos que poderão gerar recompensas ou que poderão ser doados.

FIGURA 18 - Interface do aplicativo da re-universe que permite o usuário visualizar os seus créditos decorrentes do descarte correto de copos reutilizáveis



Fonte: re-universe (2023)

FIGURA 19 - O usuário deve escanear os *QR codes* (1) do ponto de coleta antes (2) do *QR code* do seu copo reutilizável e/ou resíduo



Fonte: re-universe (2023).

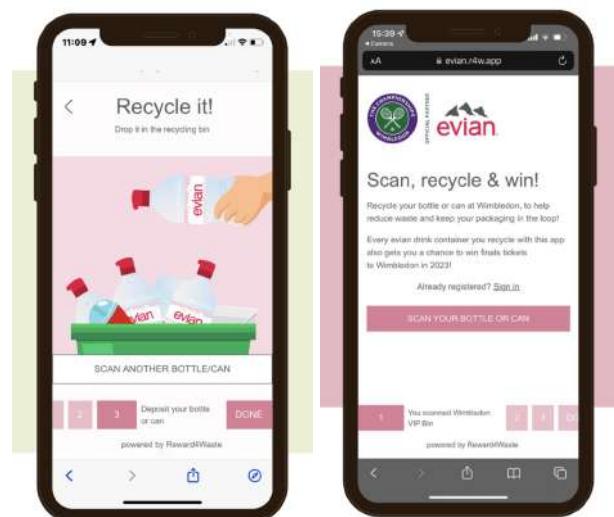
As transações são registradas de forma imutável na *blockchain* e, por meio dos resultados, a plataforma de dados proporcionou aos proprietários das marcas informações e aprendizagens comportamentais. A utilização da arquitetura *blockchain* e códigos únicos (serialização) em cada copo retornável gera diversas vantagens em relação aos sistemas existentes, como por exemplo a possibilidade de impedir a duplicidade do descarte do mesmo copo reutilizável e rastreio dos materiais descartados em cada ponto de coleta e suas características.

FIGURA 20 - Projeto realizado com a empresa de água *Evian*



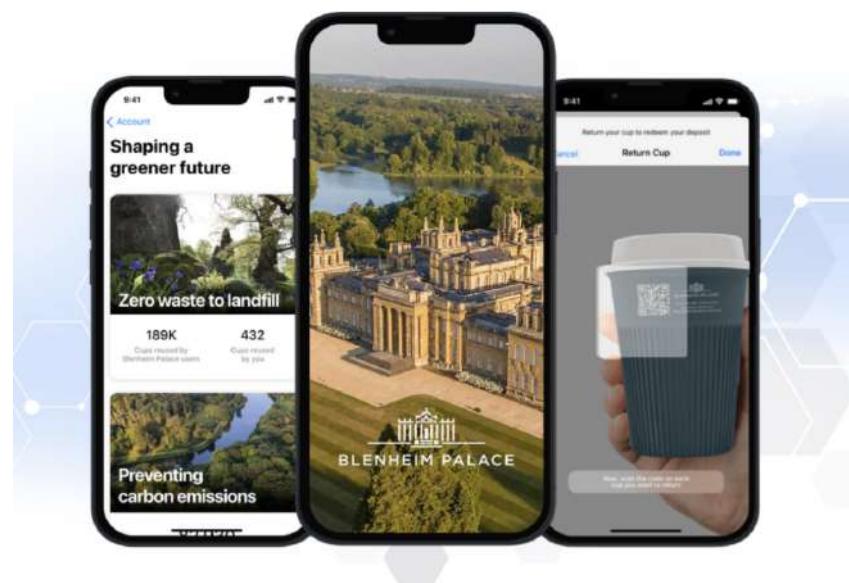
Fonte: re-universe (2023).

FIGURA 21 - Interface no aplicativo relacionada ao projeto realizado com a empresa de água *Evian*, no *Championships Wimbledon 2022*



Fonte: re-universe (2023)

FIGURA 22 - Interface no aplicativo relacionado ao projeto piloto realizado no Blenheim Palace



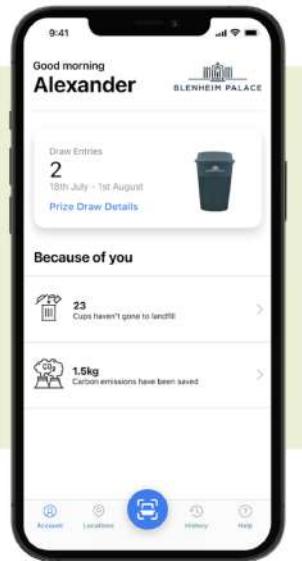
Fonte: re-universe (2023).

FIGURA 23 - Usuário escaneia o *QR code* do copo retornável relacionado ao projeto piloto no Blenheim Palace



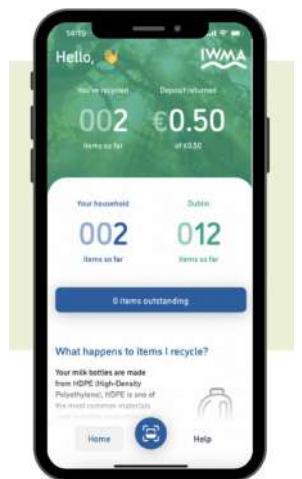
Fonte: re-universe (2023).

FIGURA 24 - Interface no aplicativo relacionado ao projeto piloto realizado no Blenheim Palace com métricas relacionadas à ação do usuário referente às emissões de GEE que deixaram de ser emitidas e a quantidade de copos que deixaram de ir para aterros



Fonte: re-universe (2023).

FIGURA 25 - Projeto piloto com o *Irish Waste Management Association (IWMA)*



Fonte: re-universe (2023).

17. Waste2Wear

A Waste2Wear é uma empresa que fornece tecidos e produtos feitos com materiais reciclados para marcas do setor da moda, de decoração e outras indústrias. Eles utilizam poliéster 100% rastreável desde a sua fonte. Desde 2008, a Waste2Wear é a primeira fornecedora de poliéster reciclado (RPET) do mundo a implementar a arquitetura *blockchain* em sua operação, a fim de garantir total transparência e conformidade da proveniência dos plásticos até a sua utilização na fabricação de produtos. Além da produção têxtil, eles estão envolvidos em projetos de redução de resíduos e na criação de alternativas para resíduos que prejudicam o meio ambiente e sobrecarregam aterros sanitários e oceanos.

Em 2018, a Waste2Wear introduziu um sistema de gestão da cadeia de fornecedores baseado na arquitetura *blockchain*. O sistema é incorporado nos produtos por meio de *QR codes*. Ao digitalizar o código, é possível visualizar as provas da proveniência dos produtos. O sistema é verificado por uma série de contratos inteligentes que fornece provas da origem da matéria-prima, até ao produto fabricado. A *blockchain* da Waste2Wear registra a jornada desde o resíduo plástico até os produtos têxteis por meio de contratos inteligentes com códigos únicos. Cada etapa na cadeia de valor possui um código único que é exibido por meio de um *QR code* em todos os produtos acabados, garantindo a conformidade dos materiais ao longo do processo de fabricação. Contratos inteligentes são executados por meio de selos físicos inteligentes, que são *QR codes* à prova de violação aplicados em caixas, juntamente com códigos de barras para medir quantidades, pesos, localizações, fotos e horários em várias etapas específicas. Cada selo inteligente é uma chave não duplicável desenvolvida pela Waste2Wear para acessar e executar um contrato inteligente na *blockchain*. Cada selo tem um número único e sete componentes de segurança diferentes. O *QR code* presente em cada produto tem um "destino" na *blockchain* que mostra fotos de cada etapa da cadeia de suprimentos, juntamente com o número correspondente do contrato inteligente. Cada contrato inteligente é único para cada produção e etapa do processo.

A tecnologia da Waste2Wear pode ser aplicada em qualquer setor que tenha como objetivo ter uma cadeia de fornecimento transparente, pois a *blockchain* da Waste2Wear - à prova de adulteração e que registra todos as etapas do processo de reciclagem e produção, desde os resíduos plásticos até ao produto - possibilita a visualização da ligação direta da origem e do percurso dos materiais reciclados - dos resíduos ao produto. Além disso, conecta

os registros digitais com provas físicas, inspeções, fotografias e números de contrato únicos, a fim de garantir a conformidade e a transparência de toda a cadeia de abastecimento.

18. ZeLoop

O *ZeLoop* é um aplicativo que utiliza *tokens* em arquitetura *blockchain* (criptomoedas) e contratos inteligentes para recompensar e incentivar os consumidores a reciclagem garrafas plásticas. Os usuários tiram uma foto da quantidade de garrafas que serão descartadas em um dos 5.000 pontos de coleta do *ZeLoop* e, ao ser verificada, os usuários ganham *tokens* chamados *Eco Rewards* - baseados na *blockchain* da *Ethereum* -, que podem ser trocados por bens e serviços. Os usuários também são recompensados com *tokens* ao alcançarem metas específicas de coletas de garrafas plásticas.

Assim, por meio do aplicativo *ZeLoop*, a organização pretende motivar e orientar os consumidores na coleta e destinação correta de garrafas plásticas por meio de recompensas. Além disso, o objetivo também é desenvolver uma comunidade que compartilhe dicas, conquistas e experiências, e possibilitar a criação de um ecossistema que valoriza e recompensa comportamentos ambientalmente corretos e viabiliza a hospedagem de outras iniciativas ambientais.

Abaixo, seguem 5 (cinco) tabelas que organizam as principais conexões das iniciativas apresentadas com a arquitetura *blockchain*:

TABELA 1 - Mapeamento de *startups*, projetos e iniciativas em arquitetura *blockchain* para a gestão de resíduos no continente europeu

Startup, projeto e/ou iniciativa	Categoria	Início da iniciativa	País	Resíduo	Partes interessadas	Benefício da blockchain	Números e/ou resultados
Bee2WasteCrypto	Projeto	2020	Portugal	Resíduos (sem especificação)	(1) Sociedade civil, (2) Autoridades Municipais e (3) organizações relacionadas à gestão de resíduos	(1) Mecanismo de incentivo e (2) Tokenização e (3) Segurança na geração dos dados	N/A
CircularChain	Plataforma ¹⁸	N/A	França	Resíduos orgânicos (lama de depuração)	(1) Produtores de lama de depuração e (2) Agricultores	(1) Rastreio e (2) Comunicação entre partes envolvidas	N/A
Circularise	Startup	2016	Holanda	Resíduos (sem especificação)	(1) Organizações relacionadas à gestão de resíduos e (2) Empresas	(1) Rastreio e (2) Comunicação entre partes	N/A

¹⁸ Plataforma da empresa SUEZ.

					e suas cadeias de fornecedores	envolvidas	
Circulor	Startup	2018	Reino Unido	Resíduos (sem especificação)	(1) Empresas e suas cadeias de fornecedores	(1) Rastreio	Software já foi implementado para o rastreio da cadeia de reciclagem de eletroeletrônicos, plásticos e baterias de veículos elétricos.
cirplus	Startup	2018	Alemanha	Resíduos plásticos	(1) Vendedores e compradores de resíduos plásticos reciclados e recicláveis	(1) Marketplace	N/A
Eiravato	Startup	2015	Irlanda	Resíduos (sem especificação)	(1) Empresas	(1) Rastreio	A solução ajuda as organizações a transformar 60-90% dos seus resíduos em recursos com valor elevado.
Empower¹⁹	Startup	2018	Noruega	Resíduos plásticos	(1) Sociedade civil, (2) Catadores, (3) Empresas, (4) Organizações relacionadas à gestão de resíduos e (4) Vendedores e compradores de resíduos plásticos reciclados e recicláveis	(1) Mecanismo de incentivo, (2) Tokenização, (3) Rastreio e (4) Marketplace	- 45.000 toneladas resíduos plásticos retiradas; - Coleta de 540.000 quilos de resíduos plásticos, em 2020; - 18.590 trabalhadores de resíduos em comunidades marginalizadas foram envolvidos em ações.
PicVisa	Empresa	N/A	Espanha	Resíduos recicláveis (sem especificação), mas sistema já foi implementado para o rastreio de resíduos têxteis	(1) Organizações relacionadas à gestão de resíduos	(1) Rastreio	Classificação e rastreio de cerca de 5.000 toneladas de resíduos têxteis por ano.
Plataforma ZERO TEIMAS	Empresa	N/A	Espanha	Resíduos (sem especificação)	(1) Empresas e (2) Organizações relacionadas à gestão de resíduos	(1) Rastreio	N/A
Recereum	Startup	2017	Ucrânia	Resíduos recicláveis (vidro, plástico, papel e alumínio), orgânicos (madeira) e eletroeletrônicos (pilhas usadas)	(1) Sociedade civil, (2) Organizações relacionadas à gestão de resíduos e (3) Autoridades Municipais	(1) Tokenização	N/A
re-universe	Empresa	2018	Reino Unido	Resíduos recicláveis (sem especificação)	(1) Empresas e (2) Sociedade civil	(1) Rastreio e (2) Mecanismo de incentivo	- Realizaram 2 (dois) projetos pilotos na Irlanda e Irlanda do Norte - e 1 (um) projeto com a empresa de água Evian; - Em 2021, foi implementado o primeiro projeto piloto de DRS digital - usando dinheiro real (depósito e devolução - no mundo, com a Associação Irlandesa de Gestão de Resíduos (IWMA) em Dublin, em que alcançaram 94% de taxa de retorno; - O projeto com a Evian, no Championships Wimbledon 2022, de reutilização de copos pode ser encontrado

¹⁹ Desde 2018, mais de 45.000 toneladas de resíduos de plástico foram retiradas do meio ambiente e colocadas no mercado, 214.545 toneladas foram certificadas e 32.252.793 quilos de plástico certificado foram reciclados. Em 2020, a Empower foi responsável pela coleta de 540.000 quilos de resíduos plásticos e forneceu empregos para 7.000 pessoas (BBC Reel, 2021). Em maio de 2023, 38 países utilizaram a tecnologia da Empower, aproximadamente 18.590 trabalhadores de resíduos em comunidades marginalizadas foram envolvidos em ações; e 4.500 toneladas de resíduos plásticos foram retirados do meio ambiente.

							no Palácio de Blenheim.
Waste2Wear	Empresa	N/A	Holanda	Resíduos plásticos	(1) Empresas	(1) Rastreio	N/A

Fonte: Tabela autoral.

TABELA 2 - Mapeamento de startups, projetos e iniciativas em arquitetura blockchain para a gestão de resíduos na América do Norte

Startup, projeto e/ou iniciativa	Categoria	Início da iniciativa	País	Resíduo	Partes interessadas	Benefício da blockchain	Números e/ou resultados
BanQu	Startup	2016	Estados Unidos	Resíduos recicláveis (sem especificação)	(1) Catadores e (2) Empresas	(1) Rastreio e (2) Comunicação entre partes envolvidas	Mais de 1 milhão de beneficiários em 45 países [não restrito à solução para gestão de resíduos]
KleanLoop	Empresa	2019 ²⁰	Canadá	Resíduos (sem especificação)	(1) Empresas, (2) Organizações relacionadas à gestão de resíduos, (3) Autoridades Municipais e (4) Sociedade civil	(1) Mecanismo de incentivo, (2) Tokenização, (3) Marketplace (4) Smart contracts e (4) DApp	N/A
Plastic Bank	Empresa	2013	Canadá	Resíduos recicláveis (sem especificação)	(1) Catadores	(1) Mecanismo de incentivo, (2) Tokenização e (3) Rastreio	- 85,8 milhões de quilogramas de plástico foram impedidos de parar ao oceano, o equivalente a 4,291,125,312 garrafas de plástico - 37.206 membros de comunidades de coleta (catadores) impactados e que encontraram um caminho para sair da pobreza, pois tiveram um aumento o médio mensal em até 33% de seu rendimento - 593 comunidades recicadoras impactadas
RecycleGO	Empresa	2016	Estados Unidos	Resíduos recicláveis (sem especificação)	(1) Organizações relacionadas à gestão de resíduos, (2) Empresas e (3) Sociedade civil	(1) Rastreio	- O CEO da RecycleGO espera que os usuários da solução obtenham poupanças de 15% a 20% com a otimização da cadeia de fornecedores, durante a primeira fase de implementação

Fonte: Tabela autoral.

²⁰ Ano em que a Solução blockchain passa a ser implementada.

TABELA 3 - Mapeamento de startups, projetos e iniciativas em arquitetura blockchain para a gestão de resíduos na América do Sul

Startup, projeto e/ou iniciativa	Categoria	Início da iniciativa	País	Resíduo	Partes interessadas	Benefício da blockchain	Números e/ou resultados
GreenPlat	Startup	2016	Brasil	Resíduos (sem especificação)	(1) Empresas, (2) Organizações relacionadas à gestão de resíduos e (3) Autoridades Municipais	(1) Rastreio e (2) Comunicação entre partes envolvidas	Desde 2016, já foram geridos 1.144.652.990,06 quilos de resíduos pela PlataformaVerde™

Fonte: Tabela autoral.

TABELA 4 - Mapeamento de startups, projetos e iniciativas em arquitetura blockchain para a gestão de resíduos no Oriente Médio

Startup, projeto e/ou iniciativa	Categoria	Início da iniciativa	País	Resíduo	Partes interessadas	Benefício da blockchain	Números e/ou resultados
ZeLoop	Aplicativo da empresa SmartBlock Beverages	2019	Emirados Árabes Unidos	Resíduos plásticos (garrafas plásticas)	(1) Sociedade civil	(1) Tokenização e (2) Mecanismo de incentivo	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicativo atingiu 10.000 usuários registrados em 146 países, apesar de existirem pontos de coleta verificados apenas em 45 países; - Alguns usuários coletaram até 6.000 garrafas em um mês nos Emirados Árabes Unidos, onde o consumo médio é de 400 garrafas por ano.

Fonte: Tabela autoral.

Mapear, estudar e analisar casos de startups, iniciativas, empresas e/ou projetos que têm implementado a arquitetura blockchain é uma forma de identificar as melhorias necessárias para o aprofundamento de seu entendimento e aplicabilidade.

Acima, foram mapeadas 18 (dezoito) iniciativas - lideradas por empresas, startups ou projetos avulsos, das quais 12 (doze) fazem parte do continente europeu, 4 (quatro) da América do Norte, 1 (uma) do Oriente Médio e 1 (uma) da América do Sul. Os principais

benefícios da *blockchain* para as iniciativas contemplaram a possibilidade de (1) criar mecanismos de incentivo; (2) tokenizar ativos (principalmente como estratégia de engajamento); (3) rastrear dados, atores envolvidos e materiais (resíduos ou matérias-primas); (4) possibilitar e aprimorar a comunicação entre as partes envolvidas na gestão de resíduos; (5) criar *marketplaces* para compra e venda de resíduos; (6) garantir a segurança na geração dos dados; (7) criar contratos inteligentes; e (8) criar DApps, sendo o rastreio e os mecanismos de incentivo os destaques das soluções. Além disso, foram mapeados os países onde essas iniciativas têm a sua sede e quais são os principais tipos de resíduos que focados em cada operação.

Em relação às partes interessadas, as iniciativas contemplaram (1) a sociedade civil; (2) as autoridades municipais; (3) organizações relacionadas à gestão de resíduos; (4) *players* de setores específicos (ex.: produtores de lama de depuração e agricultores); (5) empresas e suas cadeias de fornecedores; (6) vendedores e compradores de resíduos plásticos reciclados e recicláveis e (7) Catadores.

Por meio do mapeamento, foi possível constatar que a *blockchain* tem diversas oportunidades para com a gestão de resíduos e um potencial estruturante nas práticas de governança, no que tange, principalmente, à rastreabilidade de dados. Contudo, o aspecto mais interessante, fruto dessa análise generalista, foi perceber a capacidade da arquitetura *blockchain* atender tanto o nível macro - por meio da rastreabilidade de cadeias de fornecimento e a possibilidade de *players*, antes totalmente desconectados, terem a oportunidade de se comunicarem - quanto a nível micro da gestão de resíduos - como, por exemplo, por meio dos mecanismos de incentivo que podem impactar a sociedade civil a nível individual. Portanto, um aspecto fundamental é o nível de impacto da *blockchain* na dimensão micro que, por meio de projetos que envolvem catadores(as), por exemplo, foi possível notar o seu papel transformativo, mudando totalmente a forma de serem valorizados, remunerados e terem acesso a necessidades básicas (ex.: alimentação).

Em suma, são poucas as iniciativas que se encontram em um estágio maduro de implementação e que conseguem apresentar resultados e números de suas operações, e descrever como são as suas soluções a nível técnico.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conjunto de mundos de dados que somos - orgânico, inorgânico, humano, animal, vegetal, racional, robótico, algorítmico etc. - tornou-se, hoje, uma arquitetura de redes informativas e comunicativas. Os mundos que pensávamos como realidades separadas são hoje digitalmente conectados e interagentes. (DI FELICE, 2020, p.27)

A relação entre humanos e não humanos tem passado por transformações contínuas, impulsionadas pela geração imensurável de dados (*big data*). Essa abundância de dados possibilita um entendimento mais profundo do papel e da realidade dos não humanos, como florestas, clima, biodiversidade, resíduos, *softwares*, entre outros. Com a informatização dessa realidade, surge uma nova ecologia social, na qual humanos e não humanos se interconectam.

As interações e conexões entre os diversos atores e formas de inteligência nessa nova ecologia informatizada revelam a criação de um novo tipo de relação e arquitetura social que integra e conecta humanos e não humanos. Essa constituição social permite a construção de uma nova relação dos seres humanos com a biosfera, baseada em uma ecologia transorgânica. Nessa ecologia, é necessário compreender que as tecnologias digitais, consideradas inorgânicas, se fundem com o mundo orgânico, formando uma natureza complexa em que nem a tecnologia nem a realidade são totalmente técnicas ou orgânicas.

Dentro desse contexto, a gestão de resíduos está inserida em uma nova ecologia transorgânica, em conjunto com a arquitetura *blockchain*. Essa combinação transforma a nossa percepção e compreensão do mundo, dos resíduos e das possibilidades existentes nesse cenário. A capacidade transformadora da *blockchain* reflete-se na criação de um novo modelo de interação entre humanos e não humanos.

Os resíduos estão associados a diversos níveis, como o geológico (extração de matéria-prima para a produção), vegetal, animal (poluição dos ecossistemas), atmosférico (emissões de gases de efeito estufa que afetam as mudanças climáticas) e social (sociedade do consumo e trabalhadores informais). Quando esses níveis são monitorados e transformados em *big data* por meio da *blockchain*, são criadas infoecologias que se tornam ecossistemas

conectados. Nesse contexto de atuação em rede, ocorre a colaboração entre diversas entidades, não apenas humanas, como dispositivos, algoritmos e dados. A integração não se limita apenas aos seres humanos, mas se estende a toda a rede de entidades.

Diante dos problemas socioambientais e econômicos, surge a pergunta que questiona se as tecnologias digitais, como a geração de dados, por exemplo, são parte da solução e responsáveis pela construção de uma nova interconexão entre humanos e a biosfera. Ao analisar as aplicações da *blockchain*, é possível identificar um potencial de aproximação dos humanos com seus impactos, por meio de mecanismos de incentivo e acesso à geração de dados. No entanto, é importante ressaltar que, embora exista um potencial para avançar, a arquitetura *blockchain* não será a solução para a crise dos resíduos. A mudança necessária não se limita à implementação de arquiteturas, mas envolve uma mudança de valores, compreensão e entendimento do mundo. A gestão de resíduos depende fortemente da articulação de atores, governança de dados de qualidade, rastreabilidade e monitoramento em tempo real, e, principalmente, uma nova relação com o meio ambiente.

O presente trabalho teve como objetivo introduzir o tema das possíveis conexões entre a arquitetura *blockchain* e a gestão de resíduos. Para um aprofundamento maior do entendimento dessa temática, foi realizada uma entrevista com um especialista da área. Identifica-se como uma oportunidade de pesquisa futura a realização de entrevistas com representantes de catadores, fundadores de startups e idealizadores de projetos que conectam a *blockchain* e a gestão de resíduos, assim como outros agentes que fazem parte da cadeia de gestão de resíduos. Essas entrevistas podem identificar lacunas nas operações e fornecer sugestões de soluções práticas baseadas na arquitetura *blockchain*, se que possível.

É importante destacar que, apesar de ser uma área ainda não tão explorada, há uma falta evidente de uma perspectiva de responsabilidade social em relação, principalmente, aos trabalhadores informais, como catadores, nos estudos relacionados.

Em suma, é possível destacar que a gestão de resíduos ainda enfrenta desafios estruturais de governança e ainda depende fortemente de legislações e de vontade política. Por esse e outros motivos similares, a *blockchain* seria uma arquitetura ideal para a reformulação da área e sua constituição a partir de práticas baseadas na transparência, rastreio e monitoramento. O rastreio de resíduos, por exemplo, enfrenta diversas dificuldades

atualmente que, com a *blockchain* - e, possivelmente, em conjunto com a IoT - , poderiam ser enfrentadas. São inúmeras possibilidades, como a etiquetagem de resíduos - individuais ou em massa - com QR *codes* digitalizáveis que poderiam ser rastreadas em cada etapa de sua movimentação até o destino final etc. Contudo, importante destacar a importância de realizar análises socioeconômicas e culturais dos locais em que a *blockchain* seria "implementada", pois a sua aplicação ainda depende do engajamento da população, da vontade pública em estabelecer legislações que fortaleçam os sistemas e o incentivo das empresas - tanto da cadeia de reciclagem quanto de outros setores de consumo - em investirem em sistemas ou de exporem as suas operações que, possivelmente, terão irregularidades.

Por fim, é perceptível como a *blockchain* oferece um novo olhar para a realidade e nos leva a agir, pensar e planejar de outra maneira, além de concretizar ações que tenham a transparência como premissa. A *blockchain* é um exemplo claro e concreto de como uma arquitetura inovadora possibilita um novo agir do ser humano e cria uma nova ecologia que possibilita novos tipos de interações com os resíduos, por exemplo. A *blockchain* oferece novas oportunidades e alternativas escaláveis para empresas e cidades. A *blockchain* possibilita a concretização de práticas mais justas com o meio ambiente, com as pessoas, novas formas de pensar a redução dos impactos ambientais e surge também como uma dispersora e implementadora de uma nova relação entre o ser humano e o seu entendimento do meio ambiente. A partir de um novo tipo de social que conecta humanos e não humanos por meio da digitalização, há a agregação de diversas entidades que, sem elas, nós, seres humanos, não conseguiríamos habitar nem atuar no planeta.

Ainda, a partir do mapeamento das iniciativas e a breve revisão bibliográfica, foi possível perceber o quanto a *blockchain* é percebida como uma ferramenta. O presente trabalho buscou ultrapassar a ideia instrumental da *blockchain* construída e apresentá-la como uma nova ecologia interativa e organizativa formadora de um ecossistema constituído de interações entre humanos e não humanos. Afinal, a *blockchain* cria novas economias e, por si só, representa uma nova economia.

Assim, pode-se dizer que o ser humano não "utiliza" a *blockchain*, mas a habita, pois ela nos possibilita uma nova forma de interagir, se relacionar e habitar a rede. Dessa forma, a *blockchain* pode ser considerada como uma nova arquitetura ecológica e uma nova condição habitativa que constitui o novo ecossistema que se forma e agrupa humanos e não humanos.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022.** 2022. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>

ACCENTURE. **The Circular Economy Could Unlock \$4.5 trillion of Economic Growth.** Finds New Book by Accenture. 2015. Disponível em: <<https://newsroom.accenture.com/news/the-circular-economy-could-unlock-4-5-trillion-of-economic-growth-finds-new-book-by-accenture.htm>>

AHMAD, R. et al. **Blockchain for Waste Management in Smart Cities: A Survey.** 2021.

AZAMBUJA, P. **Cognição e Mediação Técnica:** passagem analógico-digital da recepção de TV sob a ótica da Teoria ator-rede. 2012. Tese de doutorado, Universidade do estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em: <<http://www.bdtd.uerj.br/handle/1/15096>>

BARALLA, G. et al. **Waste management:** A comprehensive state of the art about the rise of blockchain technology. 2023.

BLOCKCHAIN & CLIMATE INSTITUTE. **Blockchain, waste management, and the circular economy.** 2021. Disponível em: <<https://blockchainclimate.org/blockchain-waste-management-circular-economy/>>

BRIGGS, H. **Nova pesquisa revela 'localização exata' do aparecimento do homem moderno.** BBC News. 2019. Disponível em: <<<https://www.bbc.com/portuguese/geral-50218755#:~:text=Marcos%20evolutivos%20da%20hist%C3%B3ria%20da,homens%20modernos%20chegam%20%C3%A0%20Europa>>>

CASTIGLIONE, A. et al. **A framework for achieving a circular economy using the blockchain technology in a sustainable waste management system.** Computers & Industrial Engineering, Volume 180, 2023, 109263, ISSN 0360-8352. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109263>.

CAVASSAN, O.; RIBEIRO, J. **Um olhar epistemológico sobre o vocábulo ambiente:** algumas contribuições para pensarmos a ecologia e a educação ambiental. Filosofia e História da Biologia, v. 7, n. 2, p. 241-261, 2012.

CETESB. **Convenção de Estocolmo.** Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/centroregional/a-convencao/>>

CETESB. **Outras Convenções sobre produtos químicos e resíduos.** Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/centroregional/outras-convencoes-sobre-produtos-quimicos-e-residuos/>>

CETESB. **Convenção de Basileia.** Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/centroregional/convencao-de-basileia/>>

CETESB. **Convenção de Minamata.** CETESB. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/centroregional/convencao-de-minamata/>>

CETESB. **Convenção de Roterdã.** Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/centroregional/convencao-de-rotarda/>>

CHAVES, Airí. **O que é o mecanismo de consenso da blockchain?** BeInCrypto. 2023. Disponível em: <<https://br.beincrypto.com/aprender/entenda-mecanismo-de-consenso/>>

CIRCLE ECONOMY. **The Circularity Gap Report 2020.** 2020. Disponível em: <https://assets.website.files.com/5e185aa4d27bcf348400ed82/5e26ead616b6d1d157ff4293_20200120%20-%20CGR%20Global%20-%20Report%20web%20single%20page%20-%2020210x297mm%20-%20compressed.pdf>

CIRCULAB. **Regenerative and circular economy, what is it?** 2022. Disponível em: <<https://circulab.com/regenerative-economy-definition/>>

DAMADI, H.; NAMJOO, M. **Smart Waste Management Using Blockchain.** IT Professional, vol. 23, no. 4, pp. 81-87. 2021. doi: 10.1109/MITP.2021.3067710.

DI FELICE, M. **A cidadania digital:** a crise da ideia ocidental de democracia e a participação nas redes digitais. São Paulo: Paulus Editora, 2020.

DI FELICE, M. **Net-ativismo:** da ação social para o ato conectivo. São Paulo: Paulus Editora, 2017.

DI FELICE, M.; TORRES, J. C.; YANAZE, L. K. H. **Redes digitais e sustentabilidade:** as interações com o meio ambiente na era da informação. São Paulo: Annablume, 2012.

ESTRATÉGIA ODS. **O que são os ODS?** Disponível em: <<https://www.estategiaods.org.br/o-que-sao-os-ods/>>

EUROPEAN PARLIAMENT. **Circular economy:** definition, importance and benefits. 2015. Disponível em: <<https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>>

FRANÇA, A.S.L. et al. **Proposing the use of blockchain to improve the solid waste management in small municipalities.**, Journal of Cleaner Production, Volume 244, 2020, 118529, ISSN 0959-6526. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118529>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619333992>>

FRANÇA, A. L. D. de, Pinho Neto, J. A. S. de, & Dias, G. A. **A Ciência da Informação e o pensamento de Bruno Latour:** implicações para a análise de redes sociais. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/ies/article/view/137>>

GALVÃO, G. et al. **Towards a value stream perspective of circular business models.** Resources, Conservation and Recycling. 2020. Volume 162. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105060>.

GOPALAKRISHNAN, P. K.; Hall, J.; Behdad, S. **A Blockchain-Based Traceability System for Waste Management in Smart Cities.** 2020. doi: <https://doi.org/10.1115/DETC2020-22553>.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. **Human Development Index and Ecological Footprint.** 2021. Disponível em: <<https://data.footprintnetwork.org/#/sustainableDevelopment?cn=all&type=BCpc,EFCpc&yr=2021>>

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO). **24 million jobs to open up in the green economy.** 2019. Disponível em: <https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_628644>

JORNAL DA USP. **Economia circular será nova área de pesquisa e ensino na USP.** 2016. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/universidade/economia-circular-sera-nova-area-de-pesquisa-e-ensino-na-usp/>>

KRENAK, A. **Ideias para adiar o fim do mundo.** São Paulo: Editora: Companhia das Letras, 2019.

KUNSCH, Margarida M. K. **Estratégias comunicativas nos processos de parcerias para implementação da Agenda 2030 da ONU**. Organicom. 2023.

LATOUR, B. **Reagregando o social:** uma introdução à teoria do ator-rede. Salvador: EDUFBA-Educsc. 2012. Disponível em: <https://ecomig2014.files.wordpress.com/2014/08/latour_bruno-reagregando_o_social.pdf>

LATOUR, B. **Diante de Gaia:** oito conferências sobre a natureza no Antropoceno. São Paulo: UBU Editora, 2020.

LENZ, R. **Blockchain Applications for Waste Management:** Analysis of Blockchain use cases in waste management and general guidance for starting Blockchain projects. 2021.

LIMA, Mércia Manuela de. **O contrato natural em Michel Serres:** possibilidades e limites. 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/10672>>

LIMA, L. **Por que a América Latina se tornou novo ‘lixão’ dos EUA.** BBC News Mundo. 2022. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-60304415>>.

MILANÊS, R. **Seguindo as redes de Bruno Latour:** um ensaio sobre a antropologia simétrica e a teoria do ator-rede. Revista Inter-Legere. 2021. doi: 10.21680/1982-1662.2021v4n31ID21470. Disponível em: <<https://periodicos.ufrrn.br/interlegere/article/view/21470>>.

Movimento Nacional dos Catadores (MNCR). **Quantos Catadores existem em atividade no Brasil?** 2017. Disponível em: <<https://www.mncr.org.br/sobre-o-mncr/duvidas-frequentes/quantos-catadores-existem-em-atividade-no-brasil>>

OECD. **Plastic pollution is growing relentlessly as waste management and recycling fall short, says OECD.** 2022. Disponível em: <<https://www.oecd.org/environment/plastic-pollution-is-growing-relentlessly-as-waste-management-and-recycling-fall-short.htm#:~:text=22%2F02%2F2022%20%2D%20The,to%20a%20new%20OECD%20report>>

OECD. **The current plastics lifecycle is far from circular.** Disponível em: <<https://www.oecd.org/environment/plastics/plastics-lifecycle-is-far-from-circular.htm#:~:text=After%20taking%20into%20account%20recycling,or%20leaked%20into%20the%20environment>>

PASTOR, L. **Das mônadas às redes:** o resgate de um social associativo para a Sociologia Digital. 2019. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/plural/article/view/137909>>

PATURI et al. **Smart Solid Waste Management System Using Blockchain and IoT for Smart Cities.** 2021. doi: 10.1109/iSES52644.2021.00107. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9701057>>

Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>

PRAUDE, C. C. **Arte Computacional e Teoria Ator-Rede:** actantes e associações intersubjetivas em cena. 2015. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/19018>>.

RECICLA SAMPA. **Brasileiros geram 81,8 milhões de toneladas de lixo em 2022.** 2022. Disponível em: <<https://www.reciclasampa.com.br/artigo/brasileiros-geram-818-milhoes-de-toneladas-de-lixo-em-2022>>

REVOREDO, T.; MOURA, I. **Verbete Blockchain para Cidadania Digital**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ruHWtX_pZkw>

SCHMITT, C. J. **Redes, atores e desenvolvimento rural:** perspectivas na construção de uma abordagem relacional. 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/soc/a/k4kpdGg6DzPTyWpwFDLbpkR/?lang=pt>>

SOUZA, A. **Rachel Carson e a Primavera Silenciosa:** análise histórico-epistemológica para um saber sobre ciências. 2019.

STEINER, João. **Como os cientistas sabem a idade da Terra?** Jornal da USP. 2020. Disponível em: <https://jornal.usp.br/radio-usp/actualidades-steiner_07-08-como-os-cientistas-sabem-a-idade-da-terra/#:~:text=Nosso%20planeta%20se%20formou%20h%C3%A1,cientistas%20chegaram%20a%20este%20n%C3%BAmero%3F&text=Nossa%20casa%20no%20Universo%20%C3%A9,abriga%20a%20exist%C3%A7%C3%A3o%20de%20vida>

TAYLOR, P.; STEENMANS, K.; STEENMANS, I. **Blockchain Technology for Sustainable Waste Management**. 2020. doi: 10.3389/fpos.2020.590923

TECHDETECTOR. **Regenerative Economy.** 2022. Disponível em: <<https://techdetector.de/stories/regenerative-economy>>

TECH MONITOR. **Blockchain may yet prove its worth in the circular economy.** 2022. Disponível em: <<https://techmonitor.ai/leadership/sustainability/blockchain-may-yet-prove-worth-in-circular-economy>>

THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **What Is a Blockchain & How Can it Help a Circular Economy?** Jessi Baker Discusses. Summit 2018. 2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=eyH2PFNpxXQ>>

THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Circular economy principles:** Regenerate nature. Disponível em: <<https://ellenmacarthurfoundation.org/regenerate-nature>>

THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Circular economy introduction:** What is a circular economy? Disponível em: <<https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>>

THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Completing the picture:** How the circular economy tackles climate change. 2021. Disponível em: <<https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture>>

THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **The circular economy in detail.** Disponível em: <<https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/explore/the-circular-economy-in-detail>>

THE WORLD BANK. **Solid Waste Management.** In: Understanding Poverty, Urban Development. 11 fev. 2022. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>>

TOOGE, R.; OLIVEIRA, L. **Número de agrotóxicos registrados em 2019 é o maior da série histórica; 94,5% são genéricos, diz governo.** G1. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2019/12/28/numero-de-agrotoxicos-registrados-em-2019-e-o-maior-da-serie-historica-945percent-sao-genericos-diz-governo.ghtml>>

UNITED NATIONS. **UN launches drive to highlight environmental cost of staying fashionable.** 2019. Disponível em: <<https://news.un.org/en/story/2019/03/1035161>>

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME. **Global Resources Outlook 2019:** Natural Resources for the Future We Want. 2019. Disponível em: <<https://www.resourcepanel.org/file/1172/download?token=muaePxOQ>>

UPADHYAY, A. et al. **Blockchain technology and the circular economy:** Implications for sustainability and social responsibility. Journal of Cleaner Production, Volume 293, 2021, 126130, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126130>.

WORLD ECONOMIC FORUM. **What is regenerative capitalism and why is it important?** 2022. Disponível em:<https://www.weforum.org/agenda/2022/01/regenerative-capitalism-industry-explainer>

WORLD ECONOMIC FORUM. **A New Circular Vision for Electronics:** Time for a Global Reboot. 2019.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Global Risks Report 2023.** 2023. Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2023>

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **5 Opportunities of a Circular Economy.** 2021. Disponível em <<https://www.wri.org/insights/5-opportunities-circular-economy>>

APÊNDICES

APÊNDICE A - Roteiro de entrevista do Estudo Qualitativo com algum(a) representante da Academia

- **Perguntas introdutórias**

1. Como você enxerga a relação entre a evolução tecnológica e os impactos no meio ambiente?
2. Como você acha que as tecnologias digitais (e.g. Big Data, Inteligência Artificial etc.) contribuem e podem contribuir para práticas de sustentabilidade ambiental e para o desenvolvimento de uma nova cultura em relação ao meio ambiente? A tecnologia torna possível uma relação mais inteligente entre o ser humano e o meio ambiente ou, ao contrário, expressa e reforça o domínio do ser humano sobre a natureza, por meio da superexploração de recursos naturais, por exemplo?

- **Gerais**

3. Quais são os benefícios da tecnologia *blockchain* para a gestão de resíduos? Quais foram os principais avanços proporcionados pela tecnologia *blockchain* para a sustentabilidade e gestão de resíduos?
4. Quais são os malefícios da tecnologia *blockchain* para a gestão de resíduos? Há riscos em aplicar a tecnologia *blockchain*?
5. A tecnologia *blockchain* tem o potencial de ajudar a enfrentar os desafios da gestão de resíduos? Se sim, quais desafios e como?
6. Qual é a diferença entre usar ou não a tecnologia *blockchain* para a gestão de resíduos?

7. Quais são e serão os maiores desafios/barreiras/dificuldades para a aplicação da tecnologia *blockchain* para a gestão de resíduos?
 8. O que tem dado relevância para a tecnologia *blockchain* como solução na área da gestão de resíduos?
- **Específicas**
 9. Como a agenda tem avançado na dimensão da pesquisa?
 - a. Quais têm sido as maiores descobertas relacionadas à aplicabilidade da tecnologia *blockchain* na gestão de resíduos?
 - b. Quais são os principais desafios e avanços da pesquisa?
 - c. Quais são os próximos passos de pesquisa?

APÊNDICE B - Entrevista (gravada) com Antonio de Sant'Anna Limongi França

Entrevista com Antonio de Sant'Anna Limongi França, Pós-Doutor em Engenharia de Produção pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e autor correspondente do artigo França, A.S.L., Neto, J.A., Gonçalves, R.F., Almeida, C.M.V.B., 2020. **Proposing the use of blockchain to improve the solid waste management in small municipalities.** J. Clean. Prod. 244, 118529.

Mariana Lopes: Bom, comecei aqui a gravação. Queria saber se você concorda que eu publique a informação que você compartilhar comigo no meu documento final do meu Trabalho de Conclusão de Curso.

Antonio de Sant'Anna Limongi França: Pode. Pode utilizar e pode transcrever a nossa conversa no que depender de mim.

Mariana Lopes: Muito obrigada! Fiz umas perguntinhas relacionadas ao artigo, mas vou separando o geral. Então, primeiro, eu queria trazer um dos aspectos importantes da minha análise em relação aos catadores e às questões sociais. Vocês trouxeram essas questões no artigo, então, eu queria entender: em relação às questões sociais, principalmente relacionadas aos trabalhadores informais como os catadores e catadoras, como você vê o impacto potencial da tecnologia, ou seja, você acredita que essa nova configuração seria uma construção e uma transição para um novo sistema de gestão de resíduos, ou a perpetuação de um trabalho informal apenas mais justo? Vocês comentam sobre essa questão da justiça social e inclusão.

Antonio de Sant'Anna Limongi França: Entendi. Veja, a tecnologia não tem viés ideológico, você pode utilizar para o bem, para o mal. Pode usar de forma restrita, para benefício de todos, para benefício de alguns. Se a tecnologia, estou falando da tecnologia *blockchain* associada às tecnologias que a utilizam. Então, você usa *blockchain* como serviço na nuvem. Essa nuvem terá uma segurança cibernética adequada para a garantia da continuidade do sistema. Esse *blockchain* estará integrado ao ambiente *web* para captação das informações, supondo que esse ambiente *web* estará seguro também, bem elaborado. Então, veja, partindo do pressuposto de um projeto elaborado de forma correta conceitualmente em relação à lógica de desenvolvimento de sistemas, lógica de implementação, garantia da cibersegurança, e tem um sistema de uso amplo que beneficia todos os envolvidos, a

tecnologia ela vai permitir que uma quantidade muito maior de pessoas utilize o sistema, porque tudo é integrado e funciona automaticamente, né? A lógica de decisões. Então, veja, em um município, se você tem um sistema manual ou não integrado, ou sem garantia da qualidade da informação, é muito complicado você levar esse sistema a um grande número de usuários, porque a possibilidade de erros vai aumentando com a quantidade de pessoas e, infelizmente, a possibilidade de fraude também vai aumentando. O bom uso das tecnologias digitais leva à possibilidade de um número muito grande de pessoas utilizarem esse sistema e se beneficiarem.

Mariana Lopes: Sim. Gostaria de entender se para os catadores e catadoras muda alguma coisa, algo nesse sentido, algum aspecto, se perpetua ou não..

Antonio de Sant'Anna Limongi França: Então, continuando, considerando-se então o bom uso do sistema, que leva ao catador, como você chama, para mim é um trabalhador, o catador no Brasil tem um viés de subfunção, mas é um trabalhador, que é muito relevante e ele faz parte da nova economia, da economia circular, da economia compartilhada, e ele contribui muito para a sustentabilidade nas cidades, nos municípios, no campo e assim por diante, então, eu vejo um trabalhador nobre. Não sei na Alemanha, mas aqui quando se trata do catador ele é o coitadinho, mas ele não é um coitadinho. Ele é um coitadinho se ele for tratado de modo informal e receber um valor ínfimo pelo resíduo sólido que ele entrega ao reciclagem, ou à cooperativa, ou ao município, não precisa ser a cooperativa, pode ser o próprio município tratando disso ou concessionárias do município, ou próprio reciclagem, a empresa que compra os materiais e leva a elos iniciais de novas cadeias produtivas. Então, veja, se o sistema é organizado e leva ao trabalhador dignidade, isso pode ser uma renda complementar ou pode ser a renda dele, ou a renda da família dele, por isso que eu falei que um bom sistema garante a integridade da informação e ele permite que um maior número de pessoas utilizem o sistema de forma adequada. Em pequenos municípios, a riqueza gerada com essa nova economia, aquilo que ia para o lixão, para o depósito, para a rua, e das ruas para os rios, passa a ir para uma nova cadeia produtiva, então, uma nova riqueza. Essa nova riqueza, nosso projeto que fizemos no município com o qual trabalhamos, essa nova riqueza chegaria, se 90% da população entregasse seus resíduos sólidos ao reciclagem por intermédio do trabalhador, em torno de 25% da arrecadação do IPTU do município, uma das relevantes fontes de receitas dos municípios. Então, é uma riqueza potencialmente muito considerável, e se essa riqueza é considerável para o município como um todo, também é para os trabalhadores, falando apenas do ponto de vista do trabalhador. Só aí já temos o suficiente para viabilizar o sistema, para

dizer que é um sistema relevante, mas tem muitas outras razões para o uso deste tipo de sistema. Não é um sistema que eu desenvolvi, ou que nós desenvolvemos na minha equipe, mas qualquer sistema digital de gestão de resíduos sólidos pode levar a consequências da natureza a qual me refiro.

Mariana Lopes: Ótimo. Eu vou pular agora para uma outra parte do artigo que vocês falam sobre a expansão, aplicar esse sistema em outros municípios. Eu queria trazer para você uma ideia que eu li no livro da Tatiana Revoredo, que fala sobre o trilema *blockchain*, ou seja, uma ideia que se os *blockchains* funcionarem, ele consegue ter apenas duas dessas três propriedades: a escalabilidade, e descentralização e segurança. E, então, se um *blockchain* for altamente descentralizado e seguro, com certeza teria então um custo de escalabilidade, e se tiver alta performance e altamente descentralizado, ele não seria seguro. Eu queria entender, em relação ao projeto proposto, você acredita que o trilema se aplica?

Antonio de Sant'Anna Limongi França: O seu pressuposto não se aplica em todos os casos, não sei a quais casos a fonte da sua informação se refere, mas posso falar conceitualmente. Não há nenhuma incompatibilidade entre esses três fatores. O produto pode ser seguro, escalável e descentralizado, os três podem conviver normalmente, e posso te explicar porque eu estou dizendo isso. Olha, vou usar o exemplo mais tradicional do uso de *blockchain*, que é quando o *blockchain* nasceu como um suporte, um viabilizador do *Bitcoin*. Você tem bilhões de transações de *Bitcoin* no mundo, e crescendo, ele continua tão seguro como sempre foi, ninguém nunca derrubou o *Bitcoin*. O que ocorre é a perda de senha, porque o sujeito perdeu a senha dele, botou em uma cripto corretora inadequada, mas o *blockchain*, ou seja, a cadeia de blocos, esta, ela nunca foi modificada, e é simples de se entender, o bloco se inicia no ponto zero, a partir daí cada vez que o tempo passa, se torna mais difícil para o *hacker* destruir essa cadeia, pois teria que voltar no início, o que é economicamente inviável. Então, ao contrário, quanto maior o uso do *blockchain*, maior a segurança. Quanto à descentralização, que na verdade é distribuição, ele já nasce distribuído, porque isso faz parte do fundamento do *blockchain*, ser distribuído. Não existe nenhum *blockchain* que tenha só um servidor, daí não é *blockchain*, pois *blockchain* precisa de dois, três no mínimo, e quanto mais melhor, porque você sempre precisa da maioria dos servidores para validarem a informação. Então, é ao contrário, quanto mais distribuído, maior a segurança, e quanto maior o uso, maior a segurança também, pois mais difícil se tornará a vida do *hacker*, e eu estou falando de qualquer *blockchain*, do *Bitcoin*, da EBM, [inaudível], dos grandes nomes de *blockchain*, hoje existem dezenas, centenas, mas estou falando dos *blockchain* raiz.

Mariana Lopes: Ótimo, queria perguntar porque você falou sobre distribuição e não descentralização.

Antonio de Sant'Anna Limongi França: Então, porque na origem da informática de computação comecei a trabalhar com computador nos anos 70, já tinham duas gerações anteriores, desde o nascimento nos anos 50 da computação, eu entrei na terceira geração, com chamados [inaudível], grandes computadores, ocupavam salas inteiras de edifícios, andares inteiros, eles eram centralizados. Em um movimento seguinte, ligados aos grandes computadores, surgiram os microcomputadores, eu estou falando de uso corporativo, não de uso individual, de uso empresarial, organizacional, órgãos públicos, mas corporações. Daí ligados aos grandes computadores surgiram os microcomputadores, os terminais ligados nos computadores, e também ligados nos microcomputadores, então houve a tal descentralização. Hoje não, hoje é distribuído, no meu celular é um computador, no seu celular, meu *notebook*, seu *notebook*, tudo distribuído, espalhado. Então, não é que tenha uma hierarquia. Quando você fala centralizado ou descentralizado, você está falando em hierarquia de informações de dados. No sistema distribuído é em rede, ninguém está acima de ninguém.

Mariana Lopes: Muito legal. Agora eu queria entender sobre alguns pontos em relação ao município e a gestão municipal. Eu queria perguntar se existiu alguma resistência por parte dos gestores municipais ou outras entidades em relação ao projeto e suas tecnologias.

Antonio de Sant'Anna Limongi França: O projeto foi inovador em 2018, estamos em 2022. Foi apresentado aos municípios em 2018 e, junto com a pesquisa, criamos uma *startup*. Então, foi parte acadêmica e o que se apresentou aos municípios não foi só acadêmico, foi sim um projeto de um sistema que poderia levar ao município grandes benefícios sociais, econômicos, ambientais, tecnológicos, de reputação do município junto aos demais, e assim por diante. Então, ele sofreu muita resistência, sim, mas não por mal, simplesmente porque era desconhecido, naquele momento as criptomoedas ainda eram entendidas como algo para lavar dinheiro sujo, para esconder dinheiro, ou coisa de jovens amalucados que vendiam o apartamento da mãe para investir em dinheiro eletrônico, o que de fato aconteceu. Hoje, o assunto *blockchain* está já em um nível de maturidade muito maior do que estava, muito para avançar, mas já avançou muito. Houve resistência natural em relação a uma inovação disruptiva, e aí cabe ao acadêmico e empreendedor demonstrar os benefícios, mostrar as razões, e de fato, quando eu levei ao município e estava conversando com o prefeito sobre o projeto da criptomoeda social, nesse momento entrou a secretaria de finanças para dizer que

um projeto manual que eles tinham estava sendo fraudado, e eu falei “Prefeito, essa fraude não vai existir no sistema digital por causa disso, disso e disso.” ou seja, tem a resistência, e cabe ao acadêmico, pesquisador e empreendedor demonstrar as razões pelas quais ele acredita no que está apresentando, pesquisando ou empreendendo.

Mariana Lopes: Eu queria saber até sobre o *status*, eu vi que terminou a pesquisa, mas então não foi aplicado o projeto.

Antonio de Sant'Anna Limongi França: Foi aplicado, funcionou durante um ano. O Prefeito ficou doente, assumiu a Vice-Prefeita e, logo em seguida, terminou o mandato. Entrou um novo Prefeito com eleição e cancelou o sistema, porque era de outro partido. Neste meio tempo chegou a pandemia e vários outros projetos em andamento foram todos suspensos, e os Prefeitos nem nos recebiam mais, então essa é a situação. Alguns Prefeitos queriam receber dinheiro para poder usar o sistema, isso mais de uma vez aconteceu, aí eu dizia para o Prefeito, assessor ou intermediário: “Não. Não vou pagar, vou receber, vou fornecer o sistema, o sistema vai gerar receitas para o município, e vai gerar custos, e vai ser um saldo líquido que a gente demonstrava pelas planilhas, e vocês vão pagar pelos serviços mensalmente. Então, eu não pago nada, eu recebo. Forneço o sistema, recebo, faço a venda.”. E, bom, então essa é a triste realidade de não sei o número de Prefeituras no brasil. Não sei em outros lugares, mas é muito triste isso. Então, você tem um problema político de continuidade, e aí é necessário que a sociedade civil se organize para garantir a continuidade, e é um problema da corrupção das pessoas, e só há corrupto onde há corruptor, e com o nosso projeto nossa escolha foi agir corretamente, e poderia ser diferente. Então, é isso, mas talvez hoje em dia já haja uma clareza maior. Mas isso já tinha falado, até escrevi isso no meu texto inicial para você.

Mariana Lopes: Sim, você comentou, tinha até uma pergunta que, o que deveria ser realizado para manter a continuidade, você até já comentou. Queria perguntar sobre o papel dos gestores municipais, eu entendi que vocês colocam que tem duas plataformas *Web*, teria um sistema. Essa gestão municipal, o principal papel que ela teria seria dar continuidade para o projeto, ou teria algum tipo de engajamento, alguma função para dar relevância nesse projeto, ou você acha dependeria totalmente desse engajamento social da comunidade?

Antonio de Sant'Anna Limongi França: Veja, quem tem a caneta na mão é o Prefeito, mas o Prefeito ele somente depende dos Vereadores, falando de prefeituras, não dos governos

estaduais. E esses projetos precisam passar pela câmara dos Vereadores para que sejam aprovados. Um projeto de lei precisa de verba orçamentária. Então, primeiro é preciso que o projeto passe pela câmara dos vereadores. Este é um passo do executivo para o legislativo e depois volta aprovado ou não. Se aprovado, será implementado, e a implantação depende das secretarias municipais. Então, veja, pode ter o projeto aprovado, mas o Secretário ou Prefeito achar que o sistema não é adequado, tem a lei, tem o orçamento, mas não acontece. Para acontecer é preciso que a autoridade pública leve à frente. Com o tempo, isso se torna uma rotina, e aí tem uma rotina ampla com maior número de usuários e trabalhadores, uma riqueza maior gerada, a diminuição do lixão, diminuição dos depósitos sanitários, diminuição do custo que é pegar o resíduo e levar para o depósito, isso tudo é um custo, com tudo isso diminuindo com o tempo, o que se imagina, que não aconteceu, é que as coisas fiquem em uma nova normalidade, fica a defesa da continuidade do sistema é a nova normalidade. Mas para atingir a nova normalidade leva um tempo, e durante esse tempo é necessário que tanto o legislativo quanto o executivo não atrapalhem, e apoiem, e liderem. Isso quando a gente fala do uso pelos órgãos públicos, mas esse também pode ser um sistema para ser utilizado pelas cooperativas de catadores, direto com os recicladores, sem passar pelos órgãos públicos. Mas esse projeto a gente fez voltado às prefeituras, embora pudesse ser voltado às cooperativas. E municípios muito grandes aqui no Brasil, ou grandes, são cooperativas que cuidam da captação dos resíduos sólidos, são concessionárias da prefeitura, e essas concessionárias tem um corporativismo que precisa ser compreendido e que precisa entender a utilidade do sistema, que é um outro tipo de trabalho a ser realizado, uma outra caminhada, uma outra jornada.

Mariana Lopes: Complexo... Bem interessante. Só para finalizar essa parte, primeiro do artigo em si, vocês comentaram que os cidadãos que não tivessem celulares ou computadores receberiam um QR *code* impresso. Eu queria entender como você acha que essa falta de digitalização nos municípios brasileiros, principalmente em populações de baixa renda, impacta ou limita a aplicação do projeto, ou seja, até que ponto o sistema depende da digitalização dos cidadãos e a melhoria da infraestrutura tecnológica.

Antonio de Sant'Anna Limongi França: Muito boa a pergunta. Hoje se fala do 5G, já existem estudos para o 6G. 5G nas grandes cidades e grandes municípios, mas não nos pequenos municípios por causa do custo das torres e assim por diante. Nos pequenos municípios, a *internet* chega com menor banda, menor capacidade, falta internet nas operadoras de telefonia, Claro, Vivo, Oi, e tem os ambientes de fibra óptica com o Wi-fi localmente. Falar em Wi-fi para uma casa hoje é complicado, porque tem um custo. Então,

normalmente o uso é menor. Já a banda de *internet* que chega nas periferias também é uma banda menor, tudo é questão de custo-benefício na visão da operadora. Mas, se a prefeitura tiver um bom sistema local, um bom ambiente de *internet*, esses problemas ficam minimizados. Então, no mínimo é necessário que nos ambientes de recepção dos resíduos, haja uma boa *internet*, assim como nas lojas que vão receber os QR *codes* nos celulares dos trabalhadores para compra das mercadorias, ou dos serviços. Em resumo, se tivermos boa *internet*, na prefeitura e nas lojas, a gente consegue levar em frente o sistema.

Mariana Lopes: Mas nesse caso então, essa falta de infraestrutura tecnológica impactaria diretamente certo, a continuidade do projeto, o sucesso dele.

Antonio de Sant'Anna Limongi França: Depende do grau de fraqueza tecnológica. Se tiver uma *internet* suficiente, para acessar o ambiente nuvem, porque *blockchain* é serviço, não está no computador da prefeitura, *blockchain* está numa Amazon, no Google, numa Microsoft, numa EBM, está no ambiente de *cloud*, ambiente de nuvem, de um bom fornecedor de nuvem, falando dos líderes do Brasil no ambiente nuvem, por isso que eu citei esses quatro, porque são os líderes e, no nosso projeto, nós utilizamos um deles como nuvem, e o custo é muito baixo se você usa pouco. Na medida que você vai crescendo o uso e, portanto, crescendo receita, vai crescendo o custo também, porque você vai usar mais o ambiente nuvem. Então, se o sistema for lucrativo, e rentável, quanto maior o uso mais rentável ele será, e aí é um ponto positivo para grande quantidade, gera muito mais receita e é muito mais lucrativo e rentável, sem perder segurança e problema de escalabilidade, que é o contrário do seu fundamento original, com todo respeito..

Mariana Lopes: Sim, está ótimo. Exatamente, a gente lê, quer entender se se aplica ou não.

Antonio de Sant'Anna Limongi França: Estou falando da minha experiência e meu conhecimento teórico, mas por favor faça a sua pesquisa e chegue a sua conclusão.

Mariana Lopes: Perfeito. Tenho mais duas perguntas: em um dos nossos *e-mails* trocados, você comentou que há potencial para novos desafios no segmento. Então, gostaria que você elaborasse esse pensamento sobre pesquisa em si.

Antonio de Sant'Anna Limongi França: Ao invés de atuar na área pública, atuar direto com as cooperativas, mas em municípios médios, ou em algumas áreas específicas em municípios grandes. Ou seja, não adianta nada não trabalhar direto com a prefeitura, mas trabalhar com as

concessionárias da prefeitura, é a mesma coisa, apenas um ente a mais. Agora, o trabalho direto com as cooperativas, e as cooperativas direto com os recicladores que compram os resíduos e vendem, por exemplo, para uma fábrica que usa latínhas de alumínio como matéria prima, ou papelão ou plástico, sem passar pelos órgãos públicos, esse é um potencial a ser explorado.

Mariana Lopes: Legal, eu ia até perguntar sobre isso, os desafios. Até naquela última parte do roteiro, você falou sobre o artigo, estava tentando abordar ali a pesquisa *blockchain* e resíduos, e eu perguntei sobre os principais avanços e desafios da pesquisa, e esses próximos passos, e você próprio abordando a questão das cooperativas já é uma questão, queria entender então pelo menos só para finalizar os desafios da pesquisa em si e dos avanços.

Antonio de Sant'Anna Limongi França: Então, a pesquisa foi uma pesquisa de pós-doutorado, e a pesquisa foi encerrada com a conclusão do curso, mas continuou na prática, com a *startup*, e o projeto “Ecochain Moeda Verde,” mas isso foi antes da pandemia. No município em questão com a mudança de prefeito, o sistema morreu, simplesmente sem explicação. Novos projetos em outros municípios, em alguns pararam por causa da pandemia, e em outros foi por causa da questão do potencial de corrupção, e não houve interesse do grupo da *startup* em atuar no novo seguimento, que seria das cooperativas, porque o assunto *blockchain* é um assunto que atrai muitos investidores, de muitos segmentos, principalmente da área financeira, e também, um pouco menos, da indústria 4.0, e também, um pouco menos, do agronegócio. Agora, os profissionais que conhecem efetivamente *blockchain* é um número muito menor para atender esses vários segmentos, então os profissionais são atraídos para outros trabalhos, trabalhar em um banco, trabalhar em uma grande automobilística, grande supermercado, grande associação do agronegócio. Então, você fica sem ter profissionais, e aqueles que ficam disponíveis cobram muito caro, é um número restrito no mercado, mas isso outra vez, a inovação disruptiva traz essas questões, e com o tempo ela se torna um novo normal, quantidade de profissionais na área aumenta, quantidade de sistemas implementados aumenta e, portanto, deixa de ser uma inovação disruptiva e passa a ser uma inovação local. Em uma empresa que não tem e passa a ter, e aí os preços vão se normalizando também, mas ainda não chegamos nesse ponto. Veja, estou falando da teoria da inovação. Essas inovações vêm da ciência e da tecnologia. As inovações adicionais vêm do mercado, mas as inovações disruptivas em geral vêm da ciência, da tecnologia e do desenvolvimento do laboratório, junto com o acaso, muitas vezes.

Mariana Lopes: Quais você acha que são os desafios de pesquisar *blockchain*, quais os desafios junto com tudo isso que você já comentou, e juntar pesquisar *blockchain* e resíduos, quais os pontos principais dessa pesquisa, não só do artigo, mas todo tipo de pesquisa dessa área.

Antonio de Sant'Anna Limongi França: Para sua pesquisa, eu diria que você poderia considerar o *blockchain* e resíduos não só na área pública, mas diretamente com os atores não públicos, partindo da motivação das indústrias que adquirem os resíduos como matéria-prima, porque eles é que puxam os recicladores, e o reciclagem precisa de produto para vender para a indústria, e aí ele vai buscar nas cooperativas ou direto com os trabalhadores. Então, eu acho que neste viés, a pesquisa, do ponto de vista de uma pesquisa com utilidade prática, não a pesquisa acadêmica teórica, não do tipo de revisão da literatura, que na hora que você terminou a pesquisa já está desatualizada a revisão, pois já existem novos artigos que foram publicados, eu tô falando de pesquisa acadêmica relevante para o mundo prático. Não adianta falar de resíduos sólidos se você não tiver um viés relevante para a prática, buscando fazer do mundo um lugar melhor na área de resíduos. Eu estou falando do Brasil e países que têm esse viés de corrupção, e de visão curta dos políticos, como tem o Brasil, não sei como é na Alemanha, Espanha, Portugal, Inglaterra, mas talvez saiba como é, na Índia... Mas, para países que têm características como as do Brasil, para você atuar e pesquisar junto à área pública, precisa ter sociedade civil muito organizada e forte monitorando e supervisionando os órgãos públicos, e aí não basta as entidades públicas controle, como Ministério Público e Tribunal de Contas, não são suficientes, precise ter uma continuidade da sociedade civil organizada, e no Brasil tem várias entidades procurando agir dessa maneira, como eu estou falando.

Mariana Lopes: Adorei essa última fala, e vou pensar bastante sobre isso que você comentou porque já conecta muito com a questão da economia circular, então essa parte dos recicladores em si.

Antonio de Sant'Anna Limongi França: É por isso que eu sugiro começar, puxa, aliás princípio da indústria contemporânea, da fabricação, você puxa, ou seja, puxa matéria-prima. Produziu, estou parado - é preciso de mais material de processo. Cadê a matéria-prima? Precisamos de você, vem pra cá, daí vem todos os fornecedores. Por exemplo, uma montadora, isso que estou falando é uma coisa que a Toyota faz, a Ford, não estou falando nenhuma novidade, só estou sugerindo utilizar isso em serviços, ou nessas novas cadeias

produtivas, nessas novas cadeias com economia de várias cadeias produtivas. Mas não estou falando nada de novo.

Mariana Lopes: Conseguiu dar uma visão geral do cenário, gostei bastante. Essas são as perguntas. Muito obrigada!

APÊNDICE C - Entrevista (escrita) com Antonio de Sant'Anna Limongi França

- **Perguntas introdutórias**

1. Como você vê a relação entre a evolução tecnológica e os impactos no meio ambiente?

Resposta (Antonio de Sant'Anna Limongi França): Se nos referirmos às criptomoedas, poderemos considerar danos ao meio ambiente por causa do imenso consumo de energia. Se considerarmos drones com sensores inteligentes que, ao invés de lançarem pesticidas sobre toda uma região, lançam apenas sobre os alvos, de modo pontual, então a evolução é boa. Se utilizarmos as tecnologias para invadir sistemas alheios ou para tornarmos a guerra mais letal, é ruim. Se as utilizarmos para garantir a origem das matérias primas autênticas e com boas práticas em relação aos trabalhadores, então é boa. E assim por diante.

2. Como você acha que as tecnologias digitais (e.g. Big Data, Inteligência Artificial etc.) contribuem e podem contribuir para práticas de sustentabilidade ambiental e para o desenvolvimento de uma nova cultura em relação ao meio ambiente?

Resposta (Antonio de Sant'Anna Limongi França): As tecnologias digitais permitem o aumento das capacidades humanas e das organizações, seja por causa da capacidade de processamento e tratamento dos dados, seja pela imensa capacidade de armazenamento de dados em ordens pré-definidas ou não (via tecnologias de inteligência artificial), seja pela extensão do acesso aos dados via telecomunicações digitais, com destaque para as tecnologias de captação de dados em tempo real (IoT) e para a crescente atuação remota com tecnologias de comunicações emergentes. Elas podem ajudar de diferentes modos. O arquiteto das soluções digitais deverá estar em sintonia com o gestor do tema sob análise, para que se possa responder à questão. Tanto pode ajudar quanto pode atrapalhar. Tecnologias não tem viés.

3. A tecnologia torna possível uma relação mais inteligente entre o ser humano e o meio ambiente ou, ao contrário, expressa e reforça o domínio do ser humano sobre a natureza, por meio da superexploração de recursos naturais, por exemplo?

Resposta (Antonio de Sant'Anna Limongi França): Tanto uma coisa quanto outra podem acontecer. Bandidos cibernéticos usam a tecnologia para o mal. Gestores de empresas em geral a usam para o bem. O homem tenta dominar a natureza, mas não consegue a longo prazo. Por vezes faltam-lhe humildade e discernimento.

- **Gerais**

4. Quais são os benefícios da tecnologia blockchain para a gestão de resíduos?

Resposta (Antonio de Sant'Anna Limongi França): Blockchain é arquitetura tecnológica que pode ser utilizada de diferentes modos. No sistema de gestão referido no artigo, ajudou o município a ser melhor gerido no quesito dos resíduos sólidos domésticos, conforme explicado abaixo.

5. Quais foram os principais avanços proporcionados pela tecnologia blockchain para a sustentabilidade e gestão de resíduos?

Resposta (Antonio de Sant'Anna Limongi França): Diminuição dos criadouros dos mosquitos transmissores de doenças, maior limpeza das ruas, diminuição do crescimento dos depósitos de lixo, reciclagem dos resíduos com benefício à prática da economia circular, educação tecnológica dos envolvidos, renda familiar complementar para os catadores, geração de nova fonte de riqueza para a economia do município.

6. Quais são os malefícios da tecnologia blockchain para a gestão de resíduos?
Há riscos em aplicar a tecnologia blockchain?

Resposta (Antonio de Sant'Anna Limongi França): Não há malefício pois o sistema é do bem, seguindo as ODS da ONU. Veja no artigo publicado. Seu uso será negativo se for mal implementado ou mal utilizado.

7. A tecnologia blockchain tem o potencial de ajudar a enfrentar os desafios da gestão de resíduos? Se sim, quais desafios e como?

Resposta (Antonio de Sant'Anna Limongi França): Expliquei acima.

8. Qual é a diferença entre usar ou não a tecnologia blockchain para a gestão de resíduos?

Resposta (Antonio de Sant'Anna Limongi França): Blockchain permite a maior agilidade e garantia de integridade dos dados. Impede eventuais erros ou fraudes.

9. Quais são e serão os maiores desafios/barreiras/dificuldades para a aplicação da tecnologia blockchain para a gestão de resíduos?

Resposta (Antonio de Sant'Anna Limongi França): A compreensão do uso da tecnologia pelas lideranças do organização e depois a disciplina das rotinas. Observe também que os custos associados ao desenvolvimento do sistema são altos.

10. O que tem dado relevância para a tecnologia blockchain como solução na área da gestão de resíduos?

Resposta (Antonio de Sant'Anna Limongi França): O potencial de seu uso em grande escala de modo confiável e simples para os usuários, embora complexo na sua construção.

- **Específicas**

11. Como a agenda tem avançado na dimensão da pesquisa?

Resposta (Antonio de Sant'Anna Limongi França): Está concluída desde 2019.

12. Quais têm sido as maiores descobertas relacionadas à aplicabilidade da tecnologia blockchain na gestão de resíduos?

Resposta (Antonio de Sant'Anna Limongi França): No segmento das prefeituras falta continuidade nas gestões, quando muda a gestão municipal.

13. Quais são os principais desafios e avanços da pesquisa?

Resposta (Antonio de Sant'Anna Limongi França): Concluída em 2019.

14. Quais são os próximos passos de pesquisa?

Resposta (Antonio de Sant'Anna Limongi França): Já concluída.