

Blockchain e Sustentabilidade: Uma Análise da Aplicação no Brasil

Alice Jerônimo Lów Lopes, Cássio Bruno Castro

02-12-2024

Resumo: O presente artigo examina o potencial da tecnologia blockchain para promover a sustentabilidade em projetos no Brasil. Abordando os benefícios da descentralização, segurança e transparência, o estudo destaca como a blockchain pode revolucionar diversos setores, fomentando a inclusão financeira e o desenvolvimento sustentável. Através da análise de dois casos emblemáticos na Amazônia - o Programa Tesouro Verde e a moeda Oyx - o artigo demonstra a capacidade da blockchain em impulsionar a economia verde, garantir rastreabilidade em cadeias de suprimentos e empoderar comunidades marginalizadas. A pesquisa discute os desafios e limitações da implementação da blockchain no contexto brasileiro, incluindo a necessidade de infraestrutura robusta, capacitação técnica e um marco regulatório claro. Conclui-se que a blockchain, se integrada estrategicamente a políticas públicas e plataformas digitais, pode transformar práticas insustentáveis em modelos inclusivos e responsáveis, consolidando o Brasil como líder global na interseção entre inovação tecnológica e sustentabilidade.

Palavras-chave: Blockchain, Sustentabilidade, Inclusão Financeira, Amazônia, Tecnologia.

INTRODUÇÃO

A tecnologia blockchain permite a execução de operações descentralizadas, o que, por sua vez, reduz a dependência de servidores e intermediários centralizados. Essa estrutura de dados distribuída replica e compartilha dados com eficácia entre os participantes da rede, garantindo que as transações sejam verificadas por consenso e não possam ser adulteradas arbitrariamente. Consequentemente, a segurança e a integridade do sistema são aprimoradas. Essa tecnologia inovadora incorpora vários componentes cruciais, incluindo criptografia assimétrica, funções de *hash* e mecanismos de controle de consenso. Juntos, esses componentes trabalham harmoniosamente para proteger as transações dentro de um livro contábil distribuído e descentralizado, promovendo confiança e transparência em todo o processo, estes conceitos serão o enfoque do primeiro capítulo do artigo.

Ao eliminar a necessidade de intermediários tradicionais, o blockchain facilita transações ponto a ponto rápidas e eficientes. Consequentemente, permite uma troca perfeita de valor entre fronteiras geográficas e diferentes setores. O poder transformador do blockchain vai muito além dos domínios da confiança e da transparência, oferecendo imenso

potencial para transformação sustentável em várias dimensões: social, econômica, ambiental e tecnológica. Por exemplo, o blockchain pode ser efetivamente utilizado para modelar e otimizar processos de negócios complexos. Além disso, ele também pode ser empregado para rastrear e autenticar ativos, bem como construir cadeias de suprimentos resilientes e transparentes. Ao fazer isso, o blockchain aumenta a eficiência geral e reduz os custos.

O artigo tem como objetivo investigar como a tecnologia tem promovido sustentabilidade em projetos no Brasil, por meio de metodologia qualitativa, observando a adoção da tecnologia blockchain e as implicações de longo alcance em vários setores, incluindo, finanças e igualdade de gênero.

Como objetivo específico, examinamos os desafios de sustentabilidade no país e o potencial do blockchain como solução. Dois casos significativos da Amazônia, a saber, o Programa do Tesouro Verde e a moeda Oyx, são analisados. Esses casos exemplificam a busca pela inclusão financeira e sustentável, alinhando-se às dimensões da sustentabilidade (social, econômica, ambiental e tecnológica). Assim, ilustrando a capacidade do blockchain de melhorar a supervisão, a responsabilidade e a inclusão financeira, facilitando assim o alcance das metas de desenvolvimento sustentável por meio da integração de novas tecnologias.

Este artigo está estruturado em quatro capítulos. Na primeira, apresentamos o conceito de blockchain e sua aplicabilidade em sustentabilidade. A segunda seção discute práticas sustentáveis no Brasil e no mundo, explorando como a tecnologia pode ser integrada a iniciativas locais. Na terceira seção, analisamos os casos de uso no contexto brasileiro, como os projetos mencionados anteriormente. Por fim, a última seção aborda desafios e limitações da implementação de soluções baseadas em blockchain, antes de apresentar as considerações finais.

O tema discutido abrange assuntos de grande relevância social para os setores do governo, da sociedade civil, da comunidade técnica e empresas, tanto por ser uma tecnologia que revoluciona os modelos tradicionais ao oferecer uma estrutura descentralizada e segura para transações, quanto pela capacidade de revolucionar vários setores e facilitar o desenvolvimento sustentável e a transformação social. As aplicações potenciais do blockchain são vastas e diversas, abrangendo setores como finanças, gerenciamento da cadeia de suprimentos e impacto social. À medida que essa tecnologia continua evoluindo e amadurecendo, é crucial que as partes interessadas explorem suas possibilidades e aproveitem seu poder transformador para criar um futuro mais inclusivo e sustentável.

1. O que é a tecnologia blockchain?

É válido ressaltar que a internet permitiu transformações significativas para a estrutura da sociedade e economia. A expansão da internet permitiu a descentralização de operações comerciais por intermédio de aplicativos (MURRAY; KIM; COMBS, 2023), ficando evidente que hoje estamos cada vez mais independentes de um servidor centralizado, e de agentes intermediários (em inglês *middlemen*). Em consequência disso, novas oportunidades de negócios anteriormente burocratizados e de alto custo, agora podem ser controladas diretamente pela tecnologia blockchain.

O blockchain passa a ser considerada uma tecnologia autônoma a partir da criação do ativo digital mais conhecido, o bitcoin. Satoshi Nakamoto ao pensar uma rede de transações não controlada por intermediários, desenvolveu uma forma de processamento na qual nenhum dos *nós* (unidade ou ponto) seria capaz de controlar individualmente a rede. Ou seja, apenas pelo consenso e participação dos *nós* é possível que as transações sejam processadas, em uma atividade que permite o reconhecimento de cada um daqueles que contribui para o funcionamento do sistema.

Por isso, pode se definir blockchain como uma “estrutura de dados distribuída que é replicada e compartilhada entre os membros de uma rede” (MAKRIDAKIS, et. al; 2018). Essa estrutura de dados distribuídos faz com que cada transação “no livro razão público seja verificada por consenso” da maioria dos participantes do sistema. E, uma vez inseridas, as informações nunca podem ser apagadas. A blockchain contém um registro certo e verificável de cada transação já feita” (CROSBY et al.; 2015).

Blockchain é, portanto, um encadeamento de dados, blocos de dados vinculados a registros sequenciais imutáveis, que podem ser periodicamente adicionados, mas não deletados (DI PIERRO, 2017). Os dados são mantidos por usuários conectados por uma rede garantindo a autonomia destes. Por óbvio, quando um novo conteúdo surge, é possível ser validado mediante consenso. O blockchain utiliza tecnologias como criptografia assimétrica, funções de *hash* e controle de consenso para proteger transações em um *livro-razão* (*ledger*) distribuído e descentralizado. Assim, ela possibilita transações rápidas e eficientes em uma rede ponto a ponto que não depende de intermediários tradicionais, como bancos, ou até mesmo instituições públicas e políticas.

Ao compreender os fundamentos técnicos e o potencial transformador do blockchain, é possível perceber como essa tecnologia vai além da inovação digital, desempenhando um papel fundamental na construção de um futuro mais sustentável. Sob esta ótica, é necessário

analisar como essas características podem ser aplicadas em práticas sustentáveis no Brasil e no mundo, ilustrando os impactos da tecnologia em diferentes dimensões da sustentabilidade.

1.1. Por que é necessário pensar em uma concepção da blockchain ligada à sustentabilidade?

Há mais de uma década após a publicação do artigo de Satoshi Nakamoto, a tecnologia blockchain vem se desenvolvendo progressivamente. Além disso, a aplicação do blockchain ultrapassou as fronteiras das moedas digitais e afetou áreas como saúde (MCGHIN, *et. al.*; 2019), gerenciamento da cadeia de suprimentos (KIM, *et. al.*; 2018), monitoramento de mercado (HYVARINEN, *et. al.*; 2017), energia inteligente e proteção de direitos autorais (O'DAIR, 2017).

Embora a ideia principal do Bitcoin parecesse ter sido apresentada como uma transferência de dinheiro puramente digital. A blockchain não é uma solução limitada a problemas de transferência eletrônica de dinheiro, mas também é uma solução facilmente aplicável a uma ampla área. Mas por que o blockchain é uma tecnologia que sustenta sonhos um tanto utópicos? E o que agora é possível fazer com base no blockchain?

1.2. Como a blockchain atinge as dimensões sociais, econômicas, ambientais e tecnológicas da sustentabilidade? - caso Moeda Seeds

A tecnologia Blockchain desempenha um papel vital no avanço do desenvolvimento socioeconômico por vários motivos importantes (ZBINDEN; KONDOVA, 2019; KSHETRI; VOAS, 2018). Em primeiro lugar, promove a confiança e a transparência, permitindo que as transações e o armazenamento de dados sejam conduzidos de maneira confiável e aberta, facilitando assim o desenvolvimento socioeconômico (OLIVEIRA; OLIVER; RAMALHINHO, 2020). Em segundo lugar, garante a imutabilidade das informações, protegendo-as contra qualquer alteração ou adulteração não autorizada, fornecendo assim uma plataforma segura e confiável para atividades socioeconômicas, já que tem o potencial de aumentar a inclusão financeira, permitindo que indivíduos tradicionalmente excluídos do sistema bancário, como mulheres empresárias, tenham acesso a serviços financeiros (HENSHAW, 2023). E, paralelo a isso, as organizações podem aprimorar suas operações e eficiência aproveitando plataformas baseadas em blockchain, levando a melhores resultados socioeconômicos. Por fim, o blockchain permite o monitoramento transparente das

transações, promovendo a responsabilidade e cultivando a confiança entre investidores e partes interessadas.

Em resumo, a tecnologia tem o potencial de transformador em vários setores ao fomentar: confiança e transparência, inclusão financeira, eficiência, otimização de transferências, e atribuir maior responsabilidade e monitoramento.

Exemplo prático da inclusão financeira é a Moeda Seeds, desenvolvido por uma brasileira, Taynaah Reis. Trata-se de um ecossistema criado para apoiar a inclusão financeira e a igualdade de gênero, facilitando o acesso ao microfinanciamento para mulheres empreendedoras com projetos de impacto social. A plataforma de pagamento e empréstimo baseada em blockchain garante transparência e segurança nas transações financeiras, enquanto os tokens digitais permitem que pessoas em todo o mundo invistam de forma rápida e transparente no crescimento sustentável.

Quase três anos após o lançamento, a moeda executou mais de 200 projetos avaliados em cinco milhões de reais, apoiados por uma carteira de mais de 5.000 investidores e 80 funcionários dedicados a promover um ecossistema fintech sustentável, com estratégias de crescimento abrangentes estabelecidas para 2020 (KANEGAE, *et al*, 2021).

Tais práticas contribuem para o alcance de duas metas de desenvolvimento sustentável da ONU (inclusão financeira e igualdade de gênero). Diante do caso concreto é possível observar como o uso de tokens digitais¹ pode permitir que as pessoas participem do crescimento financeiro, este seria um passo importante para alcançar as metas globais de desenvolvimento sustentável. Moeda Seeds é um exemplo de como a tecnologia blockchain pode ser usada para gerar impacto social e promover sustentabilidade.

Sendo assim, é importante destacar o entendimento de Gabriel Ferrer (*et. al*, 2014), que compreende a sustentabilidade como um “processo para constituir uma sociedade capaz de garantir condições dignas para a humanidade por tempo indeterminado”.

Gabriel Ferrer (*et. al*, 2014) entende que a sustentabilidade a partir das dimensões: ecológicas, sociais, econômicas e tecnológicas, também considera as dimensões jurídicas da sustentabilidade. Segundo os autores Paulo Márcio Cruz e Gabriel Real Ferrer (2015), essas dimensões são necessárias para consolidar a sustentabilidade como paradigma dominante global.

¹Um token digital é uma forma de ativo digital que pode representar direitos de propriedade ou acesso a um determinado item ou serviço. NONSIRI, Sarayut. Digital Token: Token-Based Degree Certificates with Credit Transfer System. *.8th International Conference on Business and Industrial Research (ICBIR)*, Bangkok, Thailand, 2023, pp. 1312-1317. DOI: 10.1109/ICBIR57571.2023.10147481

Portanto, o processo de construção da sustentabilidade exige um reexame da necessidade de um discurso explícito sobre a redefinição de nossos diversos valores e interesses conflitantes. Visto a ameaça iminente do planeta em destruição, é de suma importância que as tecnologias estejam em congruência com a sustentabilidade e solidariedade.

2. A tecnologia blockchain associada a práticas sustentáveis no Brasil e no mundo

No entendimento de Paulo Márcio Cruz e Gabriel Real Ferrer (2014) é necessário identificar as linhas de ação da tecnologia para garantir sua contribuição para que alcance a sustentabilidade em todos os seus aspectos.

Contudo o acesso à tecnologia geralmente é limitado por interesses econômicos, o que pode levar a danos ambientais e injustiça social. Para tornar a tecnologia mais amplamente disponível, certas premissas devem ser estabelecidas.

O autor incita sobre o tráfego de tecnologias obsoletas e frequentemente “sujas”. Contudo também é importante reparar que assim como o uso de tecnologias desatualizadas impedem o progresso, o desenvolvimento de outras o impulsionam e de forma sustentável, tal qual a tecnologia blockchain.

Exemplo disso é o fomento das FinTechs (considerada uma inovação disruptiva que tem o potencial de mudar os mercados financeiros tradicionais e é impulsionada pela tecnologia da informação e pelas tecnologias de próxima geração) e as moedas digitais têm impactado positivamente minorias que sequer eram inseridas no mercado de trabalho, é o caso dos povos tradicionais da amazônia, mulheres de baixa renda e até mesmo agricultores que serão explorados no próximo tópico.

Assim como para os autores mencionados a única via para promover uma globalização que beneficie a todos é que esta via não seja meramente quantitativa, mas principalmente qualitativa, ou seja, que forneça uma perspectiva crítica sobre a natureza multifacetada da globalização, destacando suas implicações sociais, culturais e políticas para garantir uma sociedade global mais inclusiva e equitativa (CRUZ, *et. al.*, 2014). É o que se pretende quando incentivamos a tecnologia blockchain associada às práticas sustentáveis. Uma análise de casos internacionais demonstra que o blockchain não apenas promove eficiência e rastreabilidade, mas também habilita novas formas de governança e inclusão. No contexto brasileiro, será explorado estudos de caso que exemplificam como essa tecnologia tem sido utilizada para transformar desafios locais em oportunidades de desenvolvimento sustentável

3. Como a aplicação da blockchain para sustentabilidade pode impactar positivamente a sociedade brasileira.

A integração e utilização da tecnologia blockchain no contexto brasileiro revelam um potencial notável para promover a sustentabilidade em várias dimensões da sociedade e seus diversos setores. Caracterizado por seus atributos inerentes de transparência, segurança aprimorada e uma estrutura descentralizada, o blockchain surge como um instrumento inestimável que pode efetivamente enfrentar os desafios prementes de sustentabilidade que o Brasil enfrenta, particularmente em áreas críticas, como gerenciamento da cadeia de suprimentos, equidade social e mecanismos de governança.

Este capítulo se aprofundará nas maneiras pelas quais a implementação estratégica da tecnologia blockchain pode gerar resultados benéficos para a sociedade brasileira, com base em uma gama diversificada de estudos acadêmicos e evidências empíricas para fundamentar essas afirmações.

No cenário brasileiro, o advento das aplicações de blockchain se refere principalmente ao incentivo das empresas na busca por objetivos sustentáveis e ao avanço da inclusão financeira por meio de plataformas inovadoras de microfinanças e da utilização de contratos inteligentes, que capacitam coletivamente indivíduos que não têm acesso aos serviços bancários tradicionais a se envolverem ativamente na florescente economia digital (WU, 2023). Esse potencial transformador é particularmente vantajoso para comunidades marginalizadas e carentes, pois não apenas promove empreendimentos empreendedores e oportunidades de geração de renda, mas também desempenha um papel significativo na mitigação da questão generalizada da desigualdade social que há muito assola o país. Para ilustrar esse fenômeno, examinaremos duas iniciativas notáveis originárias do Brasil: a Green Treasure -AGT e a moeda Oxy.

Esses dois casos específicos foram meticulosamente selecionados para análise devido ao seu foco geográfico na região norte do Brasil, uma área que historicamente sofre de conectividade e recursos limitados; conforme relatado pelo NIC BR em 2023, impressionantes 33% de toda a população brasileira se enquadra nas categorias dos mais desfavorecidos, enquanto esse número sobe para alarmantes 44% somente na região norte. No entanto, apesar dos desafios impostos por essas disparidades socioeconômicas, ambas as iniciativas servem como exemplos de como a tecnologia pode ser aproveitada para facilitar um acesso mais amplo aos mercados globais, promovendo assim a inclusão e a participação econômica.

3.1 Transparência e rastreabilidade como incentivos a práticas sustentáveis (caso Amapá Green Treasure -AGT)

O estudo conduzido por Edson Corrêa Tavares, Fernando de Souza Meirelles, Eduardo Corrêa Tavares, Maria Alexandra Cunha e Leandro Marcilio Schunk (2021) analisa o uso inovador da tecnologia blockchain na economia verde, destacando sua aplicação em iniciativas governamentais voltadas para a promoção da sustentabilidade. O foco recai sobre o Programa Tesouro Verde no estado do Amapá, situado na região amazônica do Brasil. Este programa tem como objetivo centralizar a negociação de créditos florestais destinados a serviços ambientais, promovendo simultaneamente a sustentabilidade e a economia verde.

Ao adotar a tecnologia blockchain, o governo do Amapá busca assegurar segurança, transparência e rastreabilidade nas transações envolvendo créditos florestais. O programa transforma esses créditos em fonte de renda tanto para a administração pública quanto para os produtores rurais, ao mesmo tempo que possibilita a obtenção do Selo de Sustentabilidade mediante o cálculo da pegada ecológica e o acesso a políticas de economia verde (TAVARES; *et. al*, 2021).

O Programa Tesouro Verde se insere em um movimento global no setor público que utiliza títulos verdes para financiar projetos de infraestrutura e iniciativas alinhadas com a agenda climática e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (TAVARES; *et. al*, 2021). O Selo Tesouro Verde, por sua vez, abre oportunidades de investimento em uma região isolada da Amazônia, atraindo agências internacionais e facilitando o acesso ao mercado global.

De acordo com os autores, a obtenção do Selo de Sustentabilidade também confere benefícios tributários às empresas participantes, como descontos diferenciados na regulamentação do ICMS (TAVARES; *et. al*, 2021). Esse exemplo ilustra os esforços em prol da economia verde e da sustentabilidade na região amazônica, consolidando um compromisso com a conservação ambiental e práticas comerciais responsáveis através de uma tecnologia disruptiva.

Veja-se que a utilização da tecnologia blockchain apresenta uma estratégia distinta e oferece maior segurança de dados, liquidações de pagamentos mais rápidas, processos administrativos simplificados, menos gastos e oferece maior atrativo de investimentos em regiões do Brasil. Esta interatividade atrai corporações globais, instituições financeiras e outras organizações, uma vez que estes desejam se conectar e obter transparência e rastreabilidade em suas redes de fornecimento.

Ao interligar os esforços para promover a economia verde e a sustentabilidade na região amazônica, firma-se um compromisso com a conservação ambiental e práticas comerciais responsáveis por intermédio de uma tecnologia disruptiva.

3.2. solução para promover sustentabilidade e ações afirmativas na Amazônia - Caso da Oyx Comunidades Indígenas Suruí-Paeter e Cinta-Larga

Diante de novas demandas sociais, novas formas tradicionais de relação entre Estado e população se revelam insuficientes para o atendimento aos anseios daqueles cada vez mais informados e atentos às revoluções tecnológicas. A sociedade da informação está cada vez mais conectada, assim se percebe a influência decisiva da internet atualmente. O surgimento e o aperfeiçoamento crescente das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), tornam as formas de sociabilidade mais diretas e qualitativamente afetadas, tendo na rede mundial de computadores o ambiente propulsor.

Para a prática da autodeterminação dos cidadãos pressupõe-se uma base na sociedade civil, ou seja, surge a necessidade de investir na ciber-democracia devido à vantagem que ela proporciona ao diversificar as possibilidades democráticas participativas de forma autônoma pelo todo social.

Desse modo, o uso da Blockchain por povos originários mostrou impactos sociais e econômicos a uma população colocada à margem da sociedade, principalmente no Brasil. Como forma de desenvolver as comunidades, o indígena Elias Oyxabaten Surui, criou a criptomoeda Oyx, em conjunto com os indígenas Suruí Paiter e Cintas-largas. O objetivo é: garantir renda mínima, promover resgate cultural e atender necessidades básicas das duas tribos localizadas no Mato Grosso e Rondônia, abrangendo 4 mil pessoas.

A criptomoeda Oyx foi o método utilizado para desenvolver a autonomia desses povos que por muitas vezes não conseguem melhores condições de vida pelo constante descaso do governo, o que ficou mais evidente na Covid-19.

Paralelo a isto, destaca-se o evento COP 27, onde indígenas denunciam que possuem acesso a apenas 7% (17 milhões de dólares) dos recursos doados por governos e entidades que investem na preservação de florestas. Conforme o relatório elaborado pelos financiadores, mais da metade dos fundos doados para as comunidades indígenas são canalizadas por ONG's internacionais (ANJOS, 2022), de modo que dispersa os custos operacionais ou acabam sendo aplicado em iniciativas com ações maiores, deixando as comunidades desamparadas. O

diretor-executivo da Articulação dos Povos Indígenas, Dinamizam Tuxá, relatou que a falta de transparência e comunicação foram apontadas desde novembro de 2021 e destaca sobre a importância da comunidade fazer parte do processo tornando-o mais eficiente. Após o lançamento do relatório, 17 entidades concordaram que a falha deverá ser corrigida até 2025. Ademais, evidenciou-se o compromisso em aumentar o financiamento e apoio direto das comunidades locais, investindo em mecanismos liderados ou governados por indígenas, colocará o processo da tomada de decisão nas mãos deles, como forma de “descolonizar a riqueza”, como descreve Casey box, Diretor da estratégia global do Christensen Fund (ANJOS, 2022).

Assim, com a criação de uma moeda descentralizada é possível manter a captação e gestão de recursos financeiros, assim como ocorre para o povo suruí-cinta-larga. Inicialmente, foram criadas 100 milhões de Oyx, ao preço de R\$10 cada, o que somará R\$1 bilhão se todos forem vendidos.

Num passo seguinte, após sanear necessidades básicas das comunidades, a ideia é começar a empreender, por exemplo, para usar o token para o pagamento de recursos dessas terras indígenas, dentro do que a legislação permite. Isso eliminaria a extração ilegal de recursos e protegeria os interesses da União, diz o *white paper* da Oyx (MANCINI, 2020).

A Oxy não se trata, portanto, de investimento financeiro, mas sim um projeto com enfoque social, para a revitalização ou desenvolvimento econômico de comunidades vulneráveis. O uso de blockchain permite registrar a doação e saber o destino do dinheiro que tem sido usado por diversas ONGs no mundo para dar mais segurança aos doadores e incentivá-los a colocar recursos em seus projetos. Desse modo, é possível garantir maior transparência e controle dos recursos.

Os casos analisados evidenciam que o blockchain pode ser uma ferramenta poderosa para inclusão financeira, preservação ambiental e desenvolvimento social no Brasil. Contudo, para que esses benefícios sejam universalmente acessíveis, é essencial superar desafios estruturais e criar um ambiente.

4. Os potenciais desafios e limitações da implementação de soluções baseadas em blockchain para sustentabilidade no contexto brasileiro.

A implementação de soluções baseadas em blockchain para promover a sustentabilidade no Brasil apresenta uma série de desafios e limitações que precisam ser

cuidadosamente considerados. Embora a tecnologia tenha o potencial de transformar práticas sustentáveis em diversos setores, sua adoção não é isenta de obstáculos. Este capítulo discutirá os principais desafios e limitações da implementação de blockchain no contexto brasileiro, apoiando-se em evidências e estudos relevantes.

Um dos desafios mais significativos é a falta de infraestrutura tecnológica adequada. A implementação de soluções baseadas em blockchain requer uma infraestrutura digital robusta, que inclui acesso à internet de alta qualidade e dispositivos tecnológicos adequados. No Brasil, como destacado anteriormente, a desigualdade no acesso à tecnologia é um problema persistente na região norte. Essa disparidade pode limitar a capacidade de implementação de soluções de blockchain, uma vez que muitas comunidades podem não ter acesso às ferramentas necessárias para participar de sistemas baseados nessa tecnologia.

Além disso, a complexidade da tecnologia blockchain pode ser uma barreira significativa para sua adoção. Muitas organizações e indivíduos podem não ter o conhecimento técnico necessário para entender e implementar soluções baseadas em blockchain. Para superar esse desafio, é essencial promover programas de educação e capacitação que ajudem a construir uma compreensão mais ampla da tecnologia e de suas aplicações.

Ademais, a ausência de um marco regulatório claro para a utilização de blockchain no Brasil pode criar incertezas para as empresas e organizações que desejam implementar essa tecnologia. A falta de diretrizes específicas pode levar a uma hesitação em investir em soluções baseadas em blockchain, uma vez que as empresas podem temer repercussões legais ou dificuldades em conformidade (MARQUES, et al., 2020). Portanto, é necessário a implementação das leis e regulamentos futuros que sigam os princípios de transparência, proteção ao consumidor e incentivos à inovação (WERBACH, 2017). Essa abordagem permitirá ao Brasil criar um ambiente favorável para o crescimento sustentável do mercado de ativos digitais, alinhando-se aos objetivos estratégicos nacionais e às melhores práticas internacionais, promovendo assim um ecossistema financeiro seguro e inovador (SOUTO; ARAÚJO, 2024).

A interoperabilidade entre diferentes sistemas de blockchain também é um desafio significativo. Muitas soluções de blockchain são desenvolvidas de forma isolada, o que pode dificultar a integração entre diferentes plataformas e sistemas. Essa falta de interoperabilidade pode limitar a eficácia das soluções de blockchain em promover a sustentabilidade, uma vez que a colaboração entre diferentes stakeholders é frequentemente necessária para abordar questões complexas de sustentabilidade (HENRIQUES; POLI, 2015). A criação de padrões

comuns e protocolos de interoperabilidade será essencial para garantir que as soluções de blockchain possam trabalhar em conjunto de maneira eficaz.

Por fim, a sustentabilidade das próprias soluções de blockchain deve ser considerada. A maioria das plataformas de blockchain utiliza algoritmos de consenso que consomem grandes quantidades de energia, levantando preocupações sobre seu impacto ambiental (ONU, 2024). No contexto das iniciativas de sustentabilidade, é fundamental que as soluções de blockchain sejam projetadas de maneira a minimizar seu impacto ambiental, garantindo que a tecnologia não contribua para os problemas que se propõe a resolver.

Em suma, a implementação de soluções baseadas em blockchain para promover a sustentabilidade no Brasil enfrenta uma série de desafios e limitações que vão desde a infraestrutura tecnológica e a falta de capacitação até questões de regulamentação e segurança de dados. Para que o blockchain possa ser efetivamente utilizada como uma ferramenta para a sustentabilidade, é essencial que esses desafios sejam abordados de maneira proativa pelos multissetores, por meio de políticas públicas, educação e desenvolvimento de infraestrutura adequada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da análise feita na introdução, torna-se incontestável o potencial disruptivo da tecnologia blockchain no contexto da sustentabilidade em projetos no Brasil. Ao reduzir a dependência de intermediários centralizados, esta inovação promove a eficiência das transações, permitindo trocas de valor ágeis e eficazes entre diferentes setores e fronteiras geográficas. A segurança e integridade oferecidas pela estrutura distribuída de dados são fundamentais para garantir a confiabilidade do sistema.

Ao empregar a metodologia qualitativa, teremos a oportunidade de aprofundar nossa compreensão sobre a adoção da tecnologia blockchain e suas implicações nos setores de finanças e igualdade de gênero. Através desta abordagem, esperamos elucidar as contribuições concretas que a tecnologia blockchain pode oferecer para o monitoramento responsável, aumento da responsabilidade e promoção da inclusão financeira no setor financeiro.

A potencialidade do blockchain vai além do âmbito da confiança e transparência, apresentando-se como um catalisador para a transformação sustentável em diversas esferas, incluindo a social, econômica, ambiental e tecnológica. Seu papel na modelagem e otimização de processos de negócios complexos, bem como na construção de cadeias de suprimentos resilientes e transparentes, não pode ser subestimado.

Os resultados desta pesquisa revelam que a tecnologia blockchain é uma promessa notável na abordagem de questões de sustentabilidade no Brasil. Os casos examinados ilustram como o blockchain pode monitorar com eficácia práticas ambientais responsáveis, promover a inclusão financeira de grupos marginalizados e estabelecer estruturas de governança inovadoras centradas na transparência e na responsabilidade.

As aplicações práticas dessa tecnologia são extensas. Para o governo, o blockchain pode melhorar a supervisão das políticas públicas e ajudar a combater a corrupção. Para as empresas, ele fornece uma base para práticas éticas e para atrair investimentos globais. Para comunidades, particularmente na Amazônia, garante acesso a recursos financeiros e incentiva o crescimento econômico sustentável.

Em última análise, reafirmamos o potencial disruptivo do blockchain para superar desafios sistêmicos e promover a sustentabilidade no Brasil. Sua implementação estratégica pode abrir caminho para um futuro mais justo, inclusivo e sustentável, alinhando a nação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e, ao mesmo tempo, solidificando o papel da tecnologia como catalisadora da mudança social.

Embora os desafios, como a falta de infraestrutura e capacitação, sejam significativos, soluções como investimentos em educação digital e cooperação público-privada podem mitigar esses obstáculos. A tecnologia blockchain, se estrategicamente integrado às políticas públicas e plataformas digitais, pode atuar como um acontecimento para transformar práticas insustentáveis em modelos inclusivos e responsáveis. A tecnologia oferece uma oportunidade única para o Brasil liderar globalmente na interseção entre inovação tecnológica e sustentabilidade, promovendo um futuro mais justo, resiliente e conectado.

REFERÊNCIAS

ANJOS, Anna Beatriz dos. “Índigenas Acessam Diretamente Só 7% Dos Recursos Doados Para Que Preservem Florestas”. *Pública*, 16 Nov. 2022. Disponível em:

<https://apublica.org/2022/11/indigenas-acessam-diretamente-so-7-dos-recursos-doados-para-que-preservem-florestas/>

CUNHA, M. A. V. C. C.; MEIRELLES, F. S. M.; ALVES, D. A. R. Criptomoedas Sociais: Contribuição do Blockchain para Objetivos Sociais. In: XLIII Encontro Da ANPAD - EnANPAD 2019. Anais [...]. In press. https://arquivo.anpad.org.br/abrir_pdf.php?e=MjYzNTU=

CRUZ, Paulo Márcio; BODNAR, Zenildo. Globalização, transnacionalidade e sustentabilidade [recurso eletrônico] participação especial de Gabriel Real Ferrer; org. e rev. Lucas de Melo Prado. - Dados eletrônicos. - Itajaí : UNIVALI, 2012. pág 24.

COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL - CGI.br/NIC.br. Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (Cetic.br), Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nos domicílios brasileiros - TIC Domicílios 2023. <https://cetic.br/pt/pesquisa/domicilios/indicadores/>

DI PIERRO, Massimo. What is the blockchain?. **Computing in Science & Engineering**, v. 19, n. 5, p. 92-95, 2017. https://www.researchgate.net/publication/319439913_What_Is_the_Blockchain

HENSHAW, Alexis. “Women, Consider Crypto”: Gender in the Virtual Economy of Decentralized Finance. **Politics & Gender**, v. 19, n. 2, p. 560-584, 2023. <https://www.cambridge.org/core/journals/politics-and-gender/article/women-consider-crypto-gender-in-the-virtual-economy-of-decentralized-finance/D886A5539FAD03C9548DF9FF960D575F>

HENRIQUES, F. R. ; POLLI, R. A. . O papel dos stakeholders para tornar a sustentabilidade uma realidade nas organizações. Guarujá. 2015. <https://www.unaerp.br/documentos/1872-o-papel-dos-stakeholders-para-tornar-a-sustentabilidade-uma-realidade-nas-organizacaoes/>

10.9771/cp.v13i4.35146.

Disponível

em:

<https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/35146> Acesso em: 1 dez. 2024.

MORENO, Thiago Leandro; CUNHA, Carlos Renato. Direito e Tecnologia: Criptoativos e Tokens Não Fungíveis. Direito, governança e novas tecnologias II [Recurso eletrônico on-line] organização CONPEDI. Florianópolis, Brasil. 2023. ISBN: 78-65-5648-746-5. <http://site.conpedi.org.br/publicacoes/4k6wggq8v/4ww29fmx/C5WWuzVA8CPRnVy4.pdf>

NAKAMOTO, Satoshi. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. **Decentralized business review**, 2008. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>

NETTO, Luísa Cristina Pinto e; MENENGOLA, Everton J. F. European Green Deal, digital economy, and blockchain: the path to sustainability?. *International Journal of Digital Law*, Belo Horizonte, ano 2, n. 2, p. 11-32, maio/ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.47975/IJDL.netto.v.2.n.2>

OLIVEIRA, Thays A.; OLIVER, Miquel; RAMALHINHO, Helena. Challenges for connecting citizens and smart cities: ICT, e-governance and blockchain. **Sustainability**, v. 12, n. 7, p. 2926, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12072926>

OMONDI, Frank Ebinger and Bramwel. Leveraging Digital Approaches for Transparency in Sustainable Supply Chains: A Conceptual Paper. *Sustainability*, v. 12, n. 15, p. 6129. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/15/6129>

ONU. Digital Economy Report 2024 Shaping an environmentally sustainable and inclusive digital future. UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. Geneva, jul 2024. ISBN 978-92-1-003136-3. <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789213589779>

PARK, Arim; LI, Huan. The effect of blockchain technology on supply chain sustainability performances. **Sustainability**, v. 13, n. 4, p. 1-18, 2021. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/4/1726>

SABERI, Sara; KOUHIZADEH, M., SARKIS, J.; SHEN, L. Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 7, p. 2117-2135, 2019. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2018.1533261>

SANTOS, Ricardo Rodolfo Lima. **Fundamentos de blockchain**. São Paulo: Atlas, 2019.

SCHUETZ, Sebastian; VENKATESH, Viswanath. Blockchain, adoption, and financial inclusion in India: Research opportunities. **International journal of information management**, v. 52, p. 1-8, 2020. <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstreams/28a1c8c3-89f1-477f-909b-b82ef6f99eeb/download>

SERBULOVA, Natalia. Fintech as a transformation driver of global financial markets. In: **E3S Web of Conferences**. EDP Sciences, p. 1-9, 2021. https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/49/e3sconf_interagromash2021_08097.pdf

SOUZA, Cássio Castro; REYNA, Justo. Pushing for Sustainability through Technology: administrative consensuality by default and online dispute resolutions tools. **International Journal of Digital Law**, Belo Horizonte, ano 2, n. 1, p. 47-89, jan./abr. 2021. DOI: 10.47975/IJDL/1souzareyna.

SOUTO, Gabriel Araújo; FREITAS, Mariana Monteiro. White Paper: Melhores Práticas na Regulação de Ativos Digitais, Blockchain e CBDCs: Uma Pesquisa Comparativa com Insumos para a Regulação Brasileira. Laboratório de Políticas Públicas e Internet - LAPIN. Abril, 2024. <https://lapin.org.br/wp-content/uploads/2024/05/White-Paper-Melhores-Praticas-na-Regulacao-de-Ativos-Digitais-Blockchain-e-CBDCs-Uma-Pesquisa-Comparativa-com-Insumos-para-a-Regulacao-Brasileira.pdf>

STUIT, Andrea; BROCKINGTON, Dan; CORBERA, Esteve. Smart, Commodified and Encoded: Blockchain Technology for Environmental Sustainability and Nature Conservation. **Conservation & Society**, v. 20, n. 1, p. 12-23, 2022. DOI: 10.4103/cs.cs_41_21

WANG, Y.; HAN, J. H.; BEYNON-DAVIES, P. Understanding blockchain technology for future supply chains: a systematic literature review and research agenda. **Supply Chain Management**, v. 24, n. 1, p. 62-84, 2019. DOI: 10.1108/SCM-03-2018-0148. https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/115569/1/_system_appendPDF_proof_hi.pdf

WERBACH, Kevin. Trust, but Verify: Why the Blockchain Needs the Law. **Berkeley Technology Law Journal**, v. 33, n. 2, p. 487-550. Disponível em: <https://lawcat.berkeley.edu/record/1128548>. Acesso em: 8 de agosto de 2023.