

Tecnologia *blockchain* para a rastreabilidade da cadeia produtiva sucroalcooleira¹

Alexandre de Castro | Bárbara Elis Pereira Silva | Edgard Henrique dos Santos |
Fábio Cesar da Silva | Francisco José Severino | Inácio Henrique Yano | José Geraldo Vidal Vieira |
Mariana Abdalla Granelli | Miguel Ivan Lacerda de Oliveira | Paulo Sérgio de Arruda Ignácio

Introdução

A tecnologia *blockchain* foi definida pela primeira vez por Satoshi Nakamoto em seu artigo, no qual descrevia um novo sistema de moeda digital que permitia a transferência de valores entre as duas partes envolvidas sem a necessidade de uma instituição intermediando o processo (Nakamoto, 2009). A criptomoeda à qual Nakamoto (2009) se referiu era o Bitcoin, e a tecnologia que permitiria essa nova forma de transacionar era a *blockchain*.

Em sua essência, a *blockchain* é uma tecnologia que armazena transações de forma permanente, não sendo possível apagá-las posteriormente, somente atualizá-las sequencialmente (Mougayar, 2018). Ela pode ser compreendida como uma coleção de bloco de dados concatenados por meio de técnicas criptográficas de proteção da informação. Essas técnicas consistem em codificar o conteúdo de uma mensagem de comprimento variável para dados de comprimento fixo via protocolos de integridade e autenticação baseados em cifras de uso único, ou função *hash* de mão única (Castro, 2017; Minto Neto et al., 2018; Ethereum Foundation, 2021).

Para associar identidades digitais da *blockchain* a documentos eletrônicos, os padrões de tran-

sações contratuais e gestão de tráfego entre dispositivos automatizados são efetuados por pares (nós) conectados via internet, e passam por protocolos que garantem confiabilidade relacionada à assinatura e validação (*endorsement*) do histórico de dados, como ilustrado no modelo da Figura 13.1.

O modelo apresentado na Figura 13.1 é composto por quatro blocos principais numerados (*Block n*), em que o primeiro é o bloco gênese ou *Block 0*. Os blocos são compostos por um cabeçalho e um corpo (Data). Este último, por sua vez, é composto pelas transações T, numeradas sequencialmente. Na Figura 13.1, nota-se o detalhe do bloco Cabeçalho 2, que contém a *hash* do próprio bloco ou *hash* do bloco corrente [*atual_hash(Block 2)*] e a *hash* do bloco anterior [*anterior_hash(Block 1)*]. A *hash* permite que se tenha segurança de que os dados ligados aos blocos não sofreram alterações, característica fundamental da *blockchain* (Yano et al., 2018).

Cada transação pode ser entendida como uma ação passível de rastreabilidade, que é certificada pelos nós da rede, podendo haver sigilo de todo o seu conteúdo ou de parte dele. Essas transações são agrupadas de maneira semelhante em um livro-razão, também utilizado em operações contábeis, e, por essa característica,

¹ Declaração: a propriedade intelectual, os direitos de licenciamento e a exploração comercial do sistema de rastreabilidade com tecnologia *blockchain* embarcada desenvolvida no âmbito dos projetos Saic 23800.20/0028-1 e Saic 23800.19/0035-9 são exclusivamente pertencentes à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

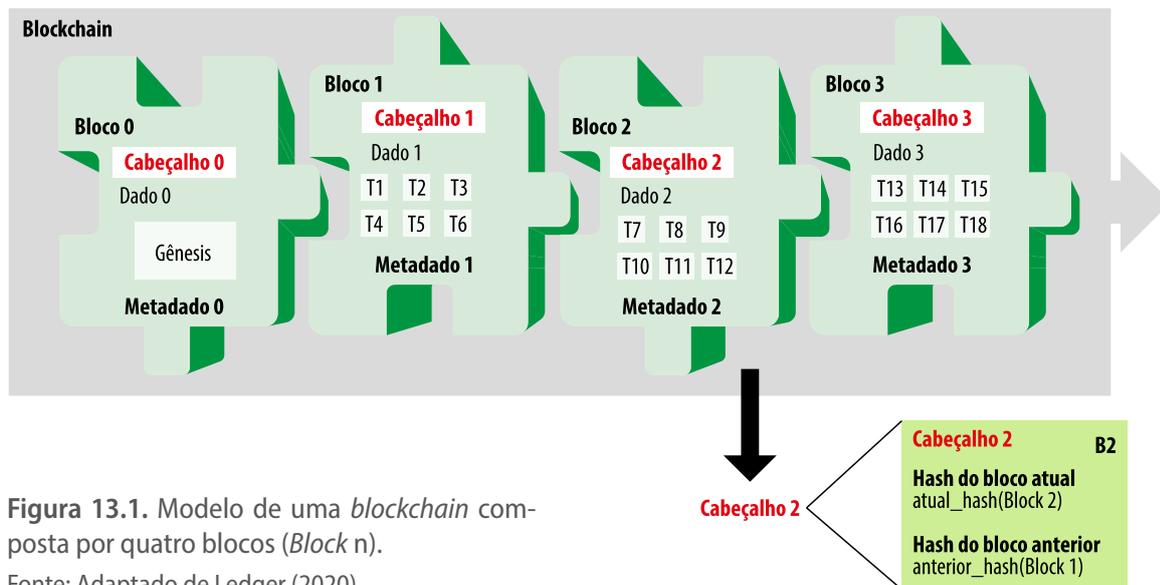


Figura 13.1. Modelo de uma *blockchain* composta por quatro blocos (*Block n*).

Fonte: Adaptado de Ledger (2020).

o conjunto é chamado de *ledger* (livro-razão em inglês).

Os *ledgers* são a base dentro de uma estrutura de ferramentas computacionais para implementação de sistemas de transações com a tecnologia *blockchain* em ambientes corporativos. Como possível exemplo de utilização dessa tecnologia, serão apresentados modelos agroindustriais simplificados de rastreabilidade de processos produtivos da indústria das culturas da cana-de-açúcar.

Fundamentos da tecnologia e os *smart contracts* (contratos inteligentes)

Algumas das características mais importantes da *blockchain* são a imutabilidade (Abeyratne; Monfared, 2016) e um mecanismo (ou algoritmo) de consenso (Abeyratne; Monfared, 2016; Kim; Laskowski, 2018; Kshetri, 2018; Zheng et al., 2018; Baliga, 2020). Como visto anteriormente, a *blockchain* permite que as redes de negócios criem livros contábeis compartilhados, que são distribuídos e replicados para fornecer

garantia, proveniência, imutabilidade e finalidade na propriedade e transferência de ativos de negócios (Viswanathan et al., 2019). A seguir, descreve-se um pouco sobre cada uma dessas características.

- Imutabilidade: nos registros da tecnologia *blockchain*, as entradas são vinculadas de forma matemática através dos *hashes*. A vinculação não apenas permite criar o caminho entre um conjunto de entradas, mas também garante que, se houver alguma manipulação, ela seja refletida automaticamente, a fim de garantir que as transações registradas sejam imutáveis, assegurando a integridade dos dados (Abeyratne; Monfared, 2016).
- Mecanismo de consenso: a cadeia de blocos é atualizada por meio do protocolo de consenso, que garante uma ordem comum e inequívoca de transações e dos blocos de forma a assegurar a integridade e a consistência das transações ali contidas para todos os nós, que estão distribuídos geograficamente (Baliga, 2020).
- Proveniência e rastreabilidade: a tecnologia *blockchain* pode ser utilizada para rastrear

ativos digitais, pois todos os dados podem ser verificados por essa rede (Bambara; Allen, 2018). O fato de as informações relacionadas a um fabricante serem compartilhadas por uma rede de nós e de os dados armazenados na *blockchain* serem imutáveis garante a proveniência dos dados de fabricação de determinado produto. O cliente é capaz de rastrear dados históricos de desempenho do fabricante e pode verificar a autenticidade e a procedência dos dados. Esse compartilhamento de informações pode aumentar a reputação do provedor de serviços e melhorar as chances de conquistar novos negócios (Angrish et al., 2018).

- d) **Auditabilidade:** um livro-razão compartilhado e transparente aumenta a cooperação entre reguladores e entidades reguladas. Dessa forma, a tecnologia *blockchain*, que registra todas as transações, torna-se um repositório de dados compartilhados para todas as entidades (nós) envolvidas. Essa característica permite a mudança do monitoramento pós-transação para o monitoramento sob demanda/imediato, além de melhorar a capacidade dos reguladores de garantir a legalidade, a segurança e a estabilidade dos mercados, permitindo o acesso a dados auditáveis e imutáveis (Aste et al., 2017).

Um dos conceitos mais importantes associados a essa tecnologia são os *smart contracts* (contratos inteligentes), os quais permitem a execução automática de acordos e pressagiam um mundo sem intermediários. As condições e as regras dos “contratos” são estabelecidas em códigos de computador, e a confiança é garantida por consenso entre os participantes (Sánchez-Gómez et al., 2020). Assim, os sistemas baseados na tecnologia *blockchain*, que suportam *smart contracts*, permitem processos e interações mais complexos, de forma que estabelecem um novo

paradigma com aplicativos praticamente ilimitados (Casino et al., 2019).

Um contrato inteligente é um documento eletrônico, com protocolos de transações computadorizadas, que ratifica um acordo de vontades entre as partes, a fim de adquirir, proteger, transferir, modificar, preservar ou extinguir direitos. A ideia de um contrato inteligente é automatizar sua execução por meio de algoritmos de comunicação em uma rede de informática com interfaces acessíveis às partes. Os campos de aplicação de um contrato inteligente seriam os estágios de seleção, negociação, compromisso, desempenho e arbitragem (Haber; Stornetta, 1991; Petroni et al., 2020). De acordo com Sánchez-Gómez et al. (2020), para determinadas aplicações, os *smart contracts* podem facilitar a execução de obrigações e a automação de processos entre as partes, embora a utilização desse tipo de protocolo requeira uma abordagem interdisciplinar, combinando práticas tecnológicas, econômicas e de legitimação.

Esses contratos podem ser implantados em plataformas de *blockchain* através de scripts e armazenados com endereços específicos para chamadas funcionais semelhantes àquelas realizadas em outras linguagens de computador programáveis (Watanabe et al., 2015). Tecnicamente, quando *smart contracts* são implantados em uma rede *blockchain*, eles são transferidos para cada nó conectado à medida que as transações são executadas; por sua vez, essas transações acionam as condições prescritas nos *smart contracts*, que atuam como códigos de computador para executar fluxos de processos relacionados ou notificações, através de rotinas computacionais (*scripts*) desenvolvidas para esse fim.

O uso potencial de *smart contracts* em cadeias produtivas pode ser visto, por exemplo, como um processo abrangente de auditoria administrativa, que, se fosse baseada em papel,

poderia prejudicar o desempenho geral da cadeia produtiva, por causa das condições limitadas e do esforço necessário para assegurar a rastreabilidade e a credibilidade do processo, tanto de transformação do produto quanto da própria auditoria em si. Isso ocorre porque as condições e os acordos regulamentados podem ser codificados em *smart contracts* para atuação automática sem depender de ação humana, evitando de forma eficiente fraudes, roubos ou outros riscos gerenciais (Chang; Chen, 2020).

Os diferentes tipos de rede *blockchain*

Os diferentes tipos de *blockchain* existentes contemplam estruturas de acesso públicas, privadas e de consórcio, e cada um deles pode ser aplicado em determinados cenários para obter melhores vantagens e eficácia (Chang; Chen, 2020). Como visto no início deste capítulo, a tecnologia *blockchain* como plataforma para computação de serviço foi aplicada pela primeira vez com o Bitcoin, uma tecnologia de livre-razão distribuída com objetivo monetário. No entanto, com a necessidade de mais transações e com a possibilidade de aplicação de seus fundamentos em diversos segmentos, na esteira do desenvolvimento do Bitcoin surgiram outras plataformas (Rizal et al., 2019), como:

- a) Ethereum: atende as necessidades de transações que não envolvem apenas transações financeiras.
- b) Hyperledger: projeto guarda-chuva de código aberto hospedado pela The Linux Foundation e introduzida para aprimorar as tecnologias de *blockchain*, buscando operar em torno de quatro requisitos — transações privadas, identidade e auditabilidade, interoperabilidade e portabilidade. Contém uma variedade de frameworks, bibliotecas,

interfaces a aplicativos, como (Tonelli et al., 2019):

- Hyperledger Sawtooth: conjunto modular de *blockchain* desenvolvido pela Intel, que usa um novo algoritmo de consenso chamado *Proof of Elapsed Time* (PoeT).
- Hyperledger Iroha: projeto de algumas empresas japonesas para criar uma aplicação que seja fácil de ser incorporada a uma estrutura *blockchain*.
- Hyperledger Fabric: projeto liderado pela International Business Machines (IBM), cuja tecnologia é um plug e executa a implementação da tecnologia *blockchain*. Projetada como uma base para desenvolver aplicativos *blockchain* de alto dimensionamento com um grau flexível de permissões.
- Hyperledger Burrow: desenvolve uma máquina de contrato inteligente admissível ao longo da especificação da Ethereum.
- Hyperledger Indy: um livro distribuído, construído especificamente para a identidade descentralizada. Ele fornece ferramentas, bibliotecas e componentes reutilizáveis para criar e usar identidades digitais independentes baseadas em *blockchains* ou em outras *ledgers* distribuídas para interoperabilidade.

Blockchain no processo produtivo

A cadeia produtiva é um processo dinâmico, um fluxo contínuo de materiais e informações combinadas entre os membros da cadeia, contemplando o processo de transformação desde a matéria-prima até o produto final (Jain et al., 2009).

As empresas buscam inicialmente conseguir pedidos de clientes no mercado, e esse é o início do processo de gestão que deve orientar o fluxo de produtos pela cadeia de suprimentos. A transparência da informação é necessária desde o recebimento dos pedidos até a manutenção do relacionamento entre os membros da cadeia de suprimentos (Gunasekaran et al., 2001).

O aumento das demandas globais na cadeia produtiva neste mundo acelerado implica um gerenciamento mais transparente e eficiente da cadeia de suprimentos, que pode ser encontrado com o uso de tecnologias emergentes da Indústria 4.0, entre elas a *blockchain* combinada com a Internet das Coisas (IoT). Essas tecnologias prometem maior controle e monitoramento das transações realizadas entre os agentes integrados na cadeia de suprimentos (Awwad et al., 2018).

As tecnologias digitais estão direcionando o desenvolvimento econômico e social, de forma disruptiva, e a *blockchain* é um exemplo disso por tratar-se de uma ferramenta fundamental para a democracia descentralizada no contexto da governança eletrônica (e-governança), aumentando a eficiência, a transparência e a sustentabilidade das cidades inteligentes (Oliveira et al., 2020).

Ainda se destaca como o principal benefício em processos produtivos na melhoria da segurança e rastreabilidade: a tecnologia *blockchain* permite fazer um acompanhamento digital dos produtos em cada fase de produção, desde os fornecedores até os consumidores por meio do compartilhamento digital da informação do produto, como local de origem, número de lote, data de caducidade ou temperatura de armazenamento. Tais informações são registradas de forma imutável na cadeia de blocos. Adicionalmente, a tecnologia permite que a informação guardada seja verificada pelos componentes da

rede, o que garante a precisão da informação (Fernandez et al., 2018).

Por representar uma maneira nova de colaborar e realizar negócios, a confiança e a transparência que proporciona converte a *blockchain* na solução ideal para múltiplos usos, entre empresas colaboradoras, bem como departamentos isolados, que requerem processos de reconciliação de transações complexas, tais como processamento de pagamentos, gestão de disputas, gestão do programa de fidelidade e gestão de promoções comerciais. Qualquer instância na qual haja tarefas e dados duplicados ou faltem dados fiáveis é propícia para a aplicação da *blockchain* (Tavares; Ignácio, 2020).

O conhecimento e o desenvolvimento dos potenciais de utilização da *blockchain* na cadeia produtiva, combinados com o aumento de exigência dos órgãos reguladores na indústria de alimentos, têm potencial de acelerar a adoção dessa tecnologia no controle e gerenciamento logístico da indústria alimentícia em busca de rastreabilidade e transparência de processos (Shilling, 2018).

É fundamental o aumento da transparência na cadeia produtiva em todos os segmentos de mercado, mas destaca-se que a indústria alimentícia (a partir da utilização de *blockchain* para a monitoramento das operações desde a origem dos produtos) tem permitido que algumas grandes organizações de varejo nos Estados Unidos reduzam o risco de contaminação dos produtos oferecidos a seus consumidores (Shilling, 2018).

Blockchain no agronegócio

A utilização da tecnologia *blockchain* na cadeia produtiva do agronegócio surgiu em alguns países asiáticos como uma solução para garantir a confiabilidade da cadeia de suprimentos

alimentícia (FSC, do inglês *food supply chain*), principalmente nos mercados mais populosos. Nesses mercados, o consumo diário de comida é intenso e complexo, causando alguns distúrbios na sociedade, como contaminação e problemas de saúde relacionados ao transporte e à distribuição, bem como aos problemas de adulteração de produtos e compras de origem duvidosa (Tan; Thi, 2020). Mesmo assim, sistemas de rastreabilidade na cadeia de suprimentos alimentícia não são frequentemente utilizados pela maioria dos mercados ao redor do mundo.

Em alguns mercados asiáticos, são utilizados sistemas de rastreamento em *blockchain* para garantir a transparência e a rastreabilidade do processo ao longo da cadeia, o que permite que o usuário final tenha acesso, no momento da compra, às informações de todo o processo de transformação do produto comprado, desde seu início, conforme ilustrado na Figura 13.2.

No fluxo apresentado (Figura 13.2), a coleta de informações sobre a matéria-prima envolve a identificação dos sistemas produtores a partir da instalação de um código QR. Esse código

pode ser aplicado, por exemplo, em um animal ou em um produto extraído da natureza, e contém informações já parametrizadas sobre suas características, permitindo assim o rastreamento na sequência dos processos. Os dados relacionados ao transporte (ex.: motorista, manuseio e rotas) podem também ser incluídos no registro, assim como informações da empresa que está recebendo. Informações sobre carga, condições do veículo e viagem podem também ser coletadas e adicionadas à base de dados.

Todas as fases do processo de fabricação podem ser gravadas em cada um dos produtos de maneira manual ou automática por meio da aplicação da IoT durante o processo de transformação. A integração com sistemas de gerenciamento de armazenagem — Warehouse Management System (WMS) — e sistemas de informação empresarial — Enterprise Resource Planning (ERP) — auxilia na conexão das etapas subsequentes, na padronização da informação e na disponibilização do conteúdo a ser gravado na *blockchain*.

Considerando o detalhamento da informação, o estágio de distribuição seguirá um processo

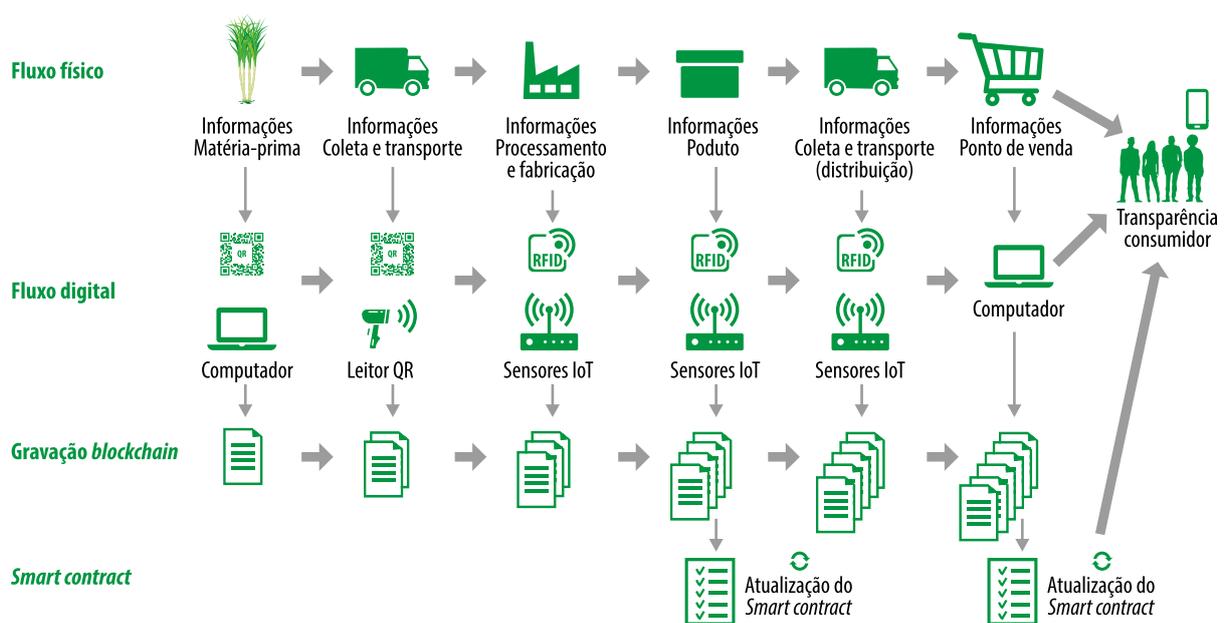


Figura 13.2. Modelo conceitual de um sistema de rastreabilidade de produtos com *blockchain*.

Fonte: Adaptado de Tan e Thi (2020).

parecido com o estágio de transporte da matéria-prima para a fábrica, movimentando produtos identificados com lotes de produção. A utilização de *smart contracts* a partir desse ponto pode auxiliar nas transações diárias de abastecimento do mercado e permitir a liberação das transações sem interferência humana. Nos pontos de distribuição e revenda, os consumidores podem ter acesso a todo o trajeto e às interferências que cada um dos produtos sofreu na cadeia de abastecimento, por meio de acesso a um dispositivo que está conectado a uma interface para usuários (Tavares; Ignácio, 2020).

Os potenciais benefícios da maior transparência e do melhor rastreamento são fortemente percebidos no ciclo de entrega de qualquer cadeia de suprimentos. Quanto mais capitalizadas são essas cadeias, aumentam as possibilidades de discrepâncias no fluxo de informações e na qualidade do produto entregue. Com uma concorrência cada vez maior no mercado, nenhuma organização quer perder nesse quesito, e essa tecnologia demonstra sua utilidade também nesses casos (Corrêa, 2019).

A Figura 13.3 ilustra um modelo simplificado de cadeia produtiva e transações na linha do tempo registradas em *blockchain* de rastreabilidade.

Com base na natureza da origem da cana-de-açúcar (cana própria ou cana de fornecedor), o

modelo de *blockchain* que mais se adequa à cadeia produtiva é o de governança centralizada (rede privada ou semiprivada), com distribuição em uma quantidade de nós não muito grande. Nesse tipo de modelo, o objetivo principal não é a geração de criptomoedas, mas sim a criação de uma trilha de auditoria com informações seguras da cadeia produtiva (Silva et al., 2019; Yano et al., 2019). Os processos de auditoria geralmente são realizados por amostragem, o que implica que elementos que não fazem parte da amostra podem escapar da auditoria. A tecnologia *blockchain* pode auxiliar na auditabilidade de dados, uma vez que qualquer alteração ao longo da cadeia afeta toda a trilha.

Em resumo, as seguintes situações (ou um arranjo misto entre elas) podem ocorrer:

- a) *Blockchain* pública: sistema distribuído geralmente em grande quantidade de nós, no qual os servidores situados em cada nó montam e verificam as assinaturas digitais (*hashes*). Esse modelo tem governança descentralizada e, dependendo da quantidade de nós da rede, pode haver grande custo computacional envolvido e, conseqüentemente, alto custo com energia elétrica suportada por fontes poluentes.
- b) *Blockchain* privada: sistema distribuído, de menor porte, com governança centralizada

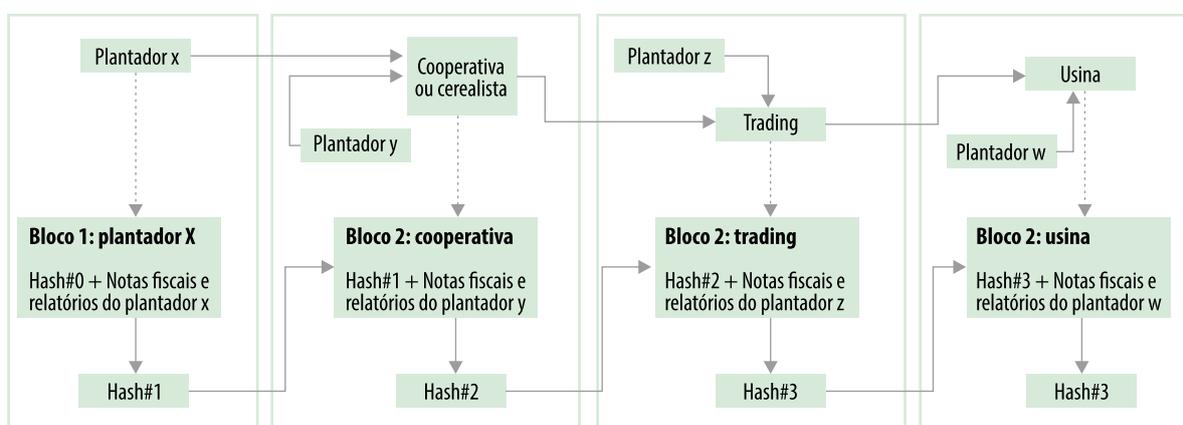


Figura 13.3. Modelo simplificado de cadeia produtiva com informações custodiadas e registradas em *blockchain*.

e com custo computacional igual ou não muito maior que o custo de manutenção de um banco de dados.

A Figura 13.4 ilustra um exemplo de *blockchain* privada que está sendo implementada no projeto-piloto intitulado Sistema de Rastreabilidade Utilizando Tecnologia *Blockchain* para Produtos e Processos Agroindustriais da Cadeia Produtiva Sucroalcooleira². O projeto está sendo conduzido no âmbito do acordo de cooperação técnica firmado entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e o Grupo Granelli, registrado no Sistema de Acompanhamento de Instrumentos Contratuais (Saic)³ sob o número 23800.20/0028-1. Esse projeto-piloto é um desdobramento de uma solução de inovação intitulada Software de Rastreamento e Comparti-

lhamento de Dados Dentro da Cadeia Produtiva a Cana-de-Açúcar via Tecnologia *Blockchain*, que faz parte do projeto Desenvolvimento de Soluções Tecnológicas com Escopo na Recuperação da Produtividade da Cana-de-Açúcar⁴, que está sendo realizado no âmbito do acordo de cooperação técnica (Saic 23800.19/0035-9) firmado entre a Embrapa e a Cooperativa dos Plantadores de Cana do Estado de São Paulo (Coplacana). No âmbito desse projeto, é previsto o desenvolvimento computacional de um software *blockchain* capaz de rastrear, registrar, armazenar, organizar e disponibilizar informações coletadas ao longo da cadeia produtiva da cana-de-açúcar, desde a implantação no campo até as etapas finais de produção de açúcar e etanol em unidades agroindustriais cooperadas da Coplacana.



Figura 13.4. Processo de rastreabilidade implementado na unidade agroindustrial Usina Granelli Ltda.

² Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/218627/sistema-de-rastreabilidade-utilizando-tecnologia-blockchain-para-produtos-e-processos-agroindustriais-da-cadeia-produtiva-sucroalcooleira>.

³ Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/extrato-de-acordo-de-cooperacao-tecnica-438880241>.

Segundo a Figura 13.4, um banco de dados é alimentado pela Usina Granelli Ltda. de forma a conter informações de lotes de fabricação, como originação e insumos agrícolas utilizados no

⁴ Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/extrato-de-contrato-392587440>.

processo agroindustrial. As informações agrícolas originadas nos fornecedores de matéria-prima cooperados da Coplacana são disponibilizadas em páginas web e acessadas via códigos de barras bidimensionais (QR Codes). Por meio de ferramentas criptográficas, as informações dos lotes de fabricação são gravadas em uma cadeia de blocos (*blockchain*), de modo que cada lote recebe uma assinatura digital para criar uma trilha segura de auditabilidade dos dados.

No desenho de uma *blockchain* privada, a governança é centralizada na rede da usina, e os servidores estão localizados em unidades industriais da própria usina. Eventualmente (não necessariamente), pontos da rede podem também estar situados ao longo da cadeia de produtiva. Esse é um modelo de baixo que pode até mesmo ser suportado por cogeração de energia elétrica nas usinas por meio de biomassa.

As unidades industriais podem funcionar como *hubs*, e seus fornecedores diretos ou indiretos disponibilizam dados primários que observam a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) (Brasil, 2018). Então, a inserção de dados na *blockchain* é realizada pela usina via plataforma web. Nesse modelo de rede privada, a usina pode ser responsável por inserir tanto os dados primários quanto os dados industriais na *blockchain*, e a montagem e as verificações de *hashes* ou assinaturas digitais ocorrem em servidores localizados na própria usina. Essa é uma rede privada minimamente distribuída ao longo da cadeia de suprimentos de uma usina, que não gera custos significativos com energia elétrica.

Blockchain para rastreabilidade de crédito de descarbonização

A Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) foi instituída pela Lei nº 13.576/2017 (Brasil, 2017). Seu principal direcionamento é o

estabelecimento de metas nacionais anuais de descarbonização para o setor de combustíveis, de forma a incentivar o aumento da produção e da participação de biocombustíveis na matriz energética de transportes do País (Brasil, 2017, 2021). No âmbito do programa RenovaBio, o crédito de descarbonização (CBio) é a métrica de sustentabilidade utilizada. A emissão de 1 CBio equivale à captura de 1 t de CO₂ da atmosfera. A quantidade de CBios emitida por uma planta industrial produtora de biocombustível é diretamente proporcional às informações de sustentabilidade da cadeia produtiva. Isso significa que uma cadeia produtiva mais sustentável emitirá mais CBios por volume de biocombustível produzido; já a cadeia produtiva menos sustentável emitirá menos CBios por volume de biocombustível produzido (Bossle, 2020).

Como exemplo, consideremos a Usina A, que emite, em média, 1 CBio para cada 1.000 L de biocombustível (valor hipotético). Por sua vez, a Usina B é mais eficiente e emite, em média, 2 CBios para cada 1.000 L de biocombustível produzido, pois sua matéria-prima processada tem origem em cadeia produtiva mais sustentável.

Então, a usina que comprova a origem sustentável da matéria-prima emite mais CBios e obtém uma receita melhor com a venda do ativo. A parte obrigada (produtoras e distribuidoras de combustíveis fósseis) deve adquirir CBios até alcançar a meta estabelecida, que, para o ano de 2020, está em torno de 14 milhões de CBios emitidos pelas usinas de biocombustíveis (dos quais 10 milhões já foram negociados até o momento). Ocorre que não somente a cadeia da cana, mas outras cadeias produtivas como a de grãos podem ser bastante complexas. As esmagadoras geralmente possuem fornecedores indiretos e, muitas vezes, com contatos de curto prazo. Assim, é difícil saber, com precisão, a origem do produto quando chega ao portão da usina. Essa falta de informação prejudica

até mesmo a elegibilidade do setor de grãos no programa RenovaBio. Para garantir a segurança da origem da matéria-prima, é preciso rastrear as transações ao longo da cadeia produtiva. De acordo com a Lei nº 13.576 (Brasil, 2017), as informações necessárias para a comprovação da sustentabilidade da cadeia de suprimentos incluem dados industriais e dados primários (agrícolas), que compreendem, por exemplo, notas fiscais da produção total de cana, teor de impurezas vegetais e minerais, consumo de corretivos, palha recolhida total, consumo de fertilizantes sintéticos, consumo de fertilizantes orgânicos, consumo de combustíveis, consumo de eletricidade, entre outros. Nesse ponto, a tecnologia *blockchain* pode funcionar como uma ferramenta eficaz de rastreabilidade, ajudando a promover a elegibilidade da usina de biocombustível no programa, além de proporcionar aumento da emissão de CBios.

A técnica de *blockchain* tem sido usada em sistemas de rastreabilidade para garantir o registro permanente das transações, o que facilita a auditoria de dados. Um algoritmo de consenso pode restringir o que pode ou não ser incluído. O controle de inclusão de informações pode ser centralizado, descentralizado ou misto, facilitando o trabalho da usina, que passa a funcionar como um *hub* da rede. Assim, rastrear de forma segura por meio da tecnologia *blockchain* facilitaria o trabalho das empresas certificadoras. Ao ganhar elegibilidade, a usina pode também buscar o aumento de receita com o acréscimo de sua métrica de CBios emitidos por volume de biocombustível produzido.

Considerações finais

A tecnologia *blockchain*, devido a sua natureza segura quanto à informação, garante a imutabilidade dos registros de todas as transações ao longo de uma cadeia de suprimentos. Além disso, por ser operacionalmente distribuída,

facilita a inclusão de diversos participantes no processo produtivo. Essa tecnologia apresenta grande potencial no apoio a sistemas de gestão de riscos, possuindo ainda a vantagem de facilitar a auditoria de dados primários ao integrar unidades agroindustriais a seus fornecedores de matéria-prima. Pela maior transparência das informações que proporciona, a tecnologia *blockchain* favorece o ciclo de entrega e auxilia no processo de rastreabilidade de qualquer cadeia de suprimentos.

Referências

- ABEYRATNE, S. A.; MONFARED, R. P. Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger. *IJRET: international journal of research in engineering and technology*, v. 5, n. 9, p. 1-10, Sept. 2016. DOI: [10.15623/ijret.2016.0509001](https://doi.org/10.15623/ijret.2016.0509001).
- ANGRISH, A.; CRAVER, B.; HASAN, M.; STARLY, B. A case study for Blockchain in manufacturing: "FabRec": a prototype for peer-to-peer network of manufacturing nodes. *Procedia Manufacturing*, v. 26, p. 1180-1192, 2018. DOI: [10.1016/j.promfg.2018.07.154](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.154).
- ASTE, T.; TASCA, P.; DI MATTEO, T. Blockchain technologies: foreseeable Impact on Industry Society. *IEEE Computer*, v. 50, n. 9, p. 18-28, Sept. 2017. DOI: [10.1109/MC.2017.3571064](https://doi.org/10.1109/MC.2017.3571064).
- AWWAD, M.; KALLURU, S. R.; AIRPULLI, V. K.; ZAMBRE, M. S.; MARATHE, A.; JAIN, P. Blockchain technology for efficient management of supply chain. In: NORTH AMERICAN INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT, 3., 2018, Washington, DC. *Proceedings...* Washington, DC: IEOM, 2018. p. 440-449.
- BALIGA, A. **Understanding blockchain consensus models**. Pune: Persistent, 2020. Disponível em: <https://www.persistent.com/wp-content/uploads/2017/04/WP-Understanding-Blockchain-Consensus-Models.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2021.
- BAMBARA, J. J.; ALLEN, P. R. **Blockchain: a practical guide to developing business, law, and technology solutions**. New York: McGraw-Hill Education, 2018.
- BOSSLE, R. Preço do CBio volta a cair e título é negociado, em média, por R\$ 43,73 em novembro. *NovaCana*, 1 dez. 2020. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/industria/financeiro/preco-cbio-volta-cair-titulo-negociado-media-r-43-73-novembro-011220>. Acesso em: 24 jan. 2021.

- BRASIL. Congresso. Câmara dos deputados. Centro de Documentação e Informação. Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 4, 27 dez. 2017.
- BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Dispõe sobre a proteção de dados pessoais e altera a Lei nº 12.965, de 23 de abril de 2014 (Marco Civil da Internet). **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 59, 15 ago. 2018.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **RenovaBio**. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/renovabio>. Acesso em: 25 jan. 2021.
- CASINO, F.; DASAKLIS, T. K.; PATSAKIS, C. A systematic literature review of *blockchain*-based applications: current status, classification and open issues. **Telematics and Informatics**, v. 36, p. 55-81, Mar. 2019. DOI: [10.1016/j.tele.2018.11.006](https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.11.006).
- CASTRO, A de. Quantum one-way permutation over the finite field of two elements. **Quantum Information Processing**, v. 16, n. 6, p. 1-18, June 2017. DOI: [10.1007/s11128-017-1599-6](https://doi.org/10.1007/s11128-017-1599-6).
- CHANG, S. E.; CHEN, Y. When blockchain meets supply chain: a systematic literature review on current development and potential applications. **IEEE Access**, v. 8, p. 62478-62494, 2020, DOI: [10.1109/ACCESS.2020.2983601](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2983601).
- CORRÊA, H. L. **Administração de cadeias de suprimentos e logística**: integração na era da Indústria 4.0. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- ETHEREUM FOUNDATION. **Intro to Ethereum**. 2021. Disponível em: <https://ethereum.org/en/developers/docs/intro-to-ethereum/#what-is-a-blockchain>. Acesso em: 30 maio 2021.
- FERNÁNDEZ, D. H. **Aplicación de la tecnología blockchain en el supply chain en los sectores industriales**. 2018. 85 p. Dissertação (Mestrado em Logística) – Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales, Valladolid.
- GUNASEKARAN, A.; PATEL C.; TIRTIROGLU, E. Performance measures and metrics in a supply chain environment. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 21, n. 1/2, p. 71-87, 2001. DOI: [10.1108/01443570110358468](https://doi.org/10.1108/01443570110358468).
- HABER, S.; STORNETTA, W. S. How to time-stamp a digital document. In: MENEZES, A. J.; VANSTONE, S. A. (ed.). **Advances in cryptology – CRYPTO '90**: proceedings. Berlin: Springer-Verlag, 1991. p. 437-455. (Lecture notes in computer science, 537).
- JAIN, V.; WADHWA, S.; DESHMUKH, S. G. Select supplier-related issues in modeling a dynamic supply chain: potential, challenges and direction for future research. **International Journal of Production Research**, v. 47, n. 11, p. 3013-3039, 2009. DOI: [10.1080/00207540701769958](https://doi.org/10.1080/00207540701769958).
- KIM, H. M.; LASKOWSKI, M. Toward an ontology-driven blockchain design for supply-chain provenance. **Intelligent Systems in Accounting Finance and Management**, v. 25, n. 1, p. 18-27, Jan./Mar. 2018. DOI: [10.1002/isaf.1424](https://doi.org/10.1002/isaf.1424).
- KSHETRI, N. Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. **International Journal of Information Management**, v. 39, p. 80-89, Apr. 2018. DOI: [10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.005](https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.005).
- LEDGER. In: HYPERLEDGER. **A blockchain platform for the enterprise**. 2020. Disponível em: <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/latest/ledger/ledger.html>. Acesso em: 21 fev. 2020.
- MINTO NETO, J. G.; SANTOS, E. H. dos; CASTRO, A. de. **Protocolo para cifra de uso único via função NOT controlada**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2018. 19 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 43). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1090389/1/Boletim43.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2020.
- MOUGAYAR, W. **Blockchain para negócios**: promessa, prática e aplicação da nova tecnologia da internet. Rio de Janeiro: Alta Books, 2018.
- NAKAMOTO, S. **Bitcoin**: a peer-to-peer electronic cash system. [2009]. 9 p. Disponível em: bitcoin.org/bitcoin.pdf. Acesso em: 10 jan. 2021.
- OLIVEIRA, T. A.; MIGUEL, O.; RAMALHINHO, H. Challenges for connecting citizens and smart cities: ICT, e-governance and blockchain. **Sustainability**, v. 12, n. 7, p. 1-21, 2020. DOI: [10.3390/su12072926](https://doi.org/10.3390/su12072926).
- PETRONI, B. C. A.; GONCALVES, R. F.; IGNÁCIO, P. S. de A.; REIS, J. Z.; MARTINS, G. J. D. U. Smart contracts applied to a functional architecture for storage and maintenance of digital chain of custody using blockchain. **Forensic Science International: digital investigation**, v. 34, n. 3, p. 1-15, 2020. DOI: [10.1016/j.fsidi.2020.300985](https://doi.org/10.1016/j.fsidi.2020.300985).
- RIZAL, S.; ANDRIAN, H. R.; KURNIAWAN, N. B.; SUHARDI. Secure service computing system platform based on blockchain — a systematic literature review. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ICT FOR SMART SOCIETY, 2019, Bandung. **Proceedings...** Bandung: School of Electrical Engineering and Informatics ITB, 2019. p. 1-6. DOI: [10.1109/ICISS48059.2019.8969843](https://doi.org/10.1109/ICISS48059.2019.8969843).

- SÁNCHEZ-GÓMEZ, N.; TORRES-VALDERRAMA, J.; GARCÍA-GARCÍA, J. A.; GUTIÉRREZ, J. J.; ESCALONA, M. J. Model-based software design and testing in blockchain smart contracts: a systematic literature review. **IEEE Access**, v. 8, p. 164556-164569, 2020. DOI: [10.1109/ACCESS.2020.3021502](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3021502).
- SHILLING, R. Keeping the supply chain safe. **Food Engineering**, v. 90, n. 10, p. 54-59, Oct. 2018.
- SILVA, F. G. C. e; SILVA, F. C. da; CASTRO, A. de; YANO, I. H. Avaliação da técnica de blockchain na rastreabilidade na agroindústria a sucroenergética. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 39., 2019, Santos. **Os desafios da engenharia de produção para uma gestão inovadora da Logística e Operações: anais**. Rio de Janeiro: Abepro, 2019. p. 1-12. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1114038/1/AvaliacaotecnicablockchainEnegep.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2021.
- TAN, A.; THI, N. P. A proposed framework model for dairy supply chain traceability. **Sustainable Futures**, v. 2, p. 1-6, 2020. DOI: [10.1016/j.sftr.2020.100034](https://doi.org/10.1016/j.sftr.2020.100034).
- TAVARES, P. R. dos S.; IGNÁCIO, P. S. de A. A expansão de modelos blockchain aplicados em diferentes cadeias de suprimentos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 40., 2020, Foz do Iguaçu. **Contribuições da engenharia de produção para a gestão de operações energéticas sustentáveis: anais**. Rio de Janeiro: Abepro, 2020.
- TONELLI, R.; LUNESU, M. I.; PINNA, A.; TAIBI, D.; MARCHESI, M. Implementing a microservices system with blockchain smart contracts. In: IEEE INTERNATIONAL WORKSHOP ON BLOCKCHAIN ORIENTED SOFTWARE ENGINEERING, 2., 2019, Hangzhou. [Proceedings...]. Piscataway: IEEE, 2019. p. 22-31. DOI: [10.1109/IWBOSE.2019.8666520](https://doi.org/10.1109/IWBOSE.2019.8666520).
- VISWANATHAN, R.; DASGUPTA, D.; GOVINDASWAMY, S. R. Blockchain solution reference architecture (BSRA). **IBM Journal of Research and Development**, v. 63, n. 2/3, p. 1-12, Mar./May 2019. DOI: [10.1147/JRD.2019.2913629](https://doi.org/10.1147/JRD.2019.2913629).
- WATANABE, H.; FUJIMURA, S.; NAKADAIRA, A.; MIYAZAKI, Y.; AKUTSU, A.; KISHIGAMI, J. J. Blockchain contract: a complete consensus using blockchain. In: IEEE GLOBAL CONFERENCE ON CONSUMER ELECTRONICS, 4., 2015, Osaka. [Abstract book]. Piscataway: IEEE, 2015. p. 577-578. DOI: [10.1109/GCCE.2015.7398721](https://doi.org/10.1109/GCCE.2015.7398721).
- YANO, I. H.; CASTRO, A. de; CANÇADO, G. M. de A.; SILVA, F. C. da. **Proposta de utilização de uma blockchain para o registro de teores de dextrana na produção de açúcar**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2019. (Embrapa Informática Agropecuária. Comunicado técnico, 132). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1116191/1/Comunicado132.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2021.
- YANO, I. H.; SANTOS, E. H. dos; CASTRO, A. de; BERGIER, I.; SANTOS, P. M.; OLIVEIRA, S. R. de M.; ABREU, U. G. P. de. **Modelo de rastreamento bovino via Smart Contracts com tecnologia Blockchain**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2018. 21 p. (Embrapa informática Agropecuária. Comunicado técnico, 130). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1101384/1/ModelorastreamentoCT130.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2021.
- ZHENG, Z.; XIE, S.; DAI, H. N.; CHEN, X.; WANG, H. Blockchain challenges and opportunities: a survey. **International Journal of Web and Grid Services**, v. 14, n. 4, p. 352-375, Jan. 2018. DOI: [10.1504/IJWGS.2018.095647](https://doi.org/10.1504/IJWGS.2018.095647).