

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Glênio Descovi de Freitas

**METODOLOGIA DE MODELAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DE
BLOCKCHAIN EM PROCESSOS DE NEGÓCIO**

Santa Maria, RS
2023

Glênio Descovi de Freitas

**METODOLOGIA DE MODELAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DE BLOCKCHAIN EM
PROCESSOS DE NEGÓCIO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Área de Concentração em Ciências Exatas e da Terra, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência da Computação**. Defesa realizada por videoconferência.

ORIENTADOR: Prof. Alencar Machado

COORIENTADOR: Prof. Vinícius Maran

Santa Maria, RS
2023

©2023

Todos os direitos autorais reservados a Glênio Descovi de Freitas. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Dom Pedro I, n. 701, casa

Fone (0xx) 55 99120 3418; End. Eletr.: glenio.descovi@gmail.com

Glênio Descovi de Freitas

**METODOLOGIA DE MODELAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DE BLOCKCHAIN EM
PROCESSOS DE NEGÓCIO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Área de Concentração em Ciências Exatas e da Terra, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência da Computação**.

Aprovado em 28 de março de 2023:

Alencar Machado, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Vinícius Maran, Dr. (UFSM)
(Coorientador)

Celio Trois, Dr. (UFSM)

Gustavo Machado, PHD. (NCSU)

Santa Maria, RS
2023

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão e reconhecimento à minha família, que sempre esteve presente e me apoiou incondicionalmente em minha jornada acadêmica e pessoal. Durante este caminho, enfrentei muitos desafios, incluindo a pandemia global que afetou significativamente a vida de todos, bem como a doença grave da minha mãe e a mudança de cidade, o que tornou tudo ainda mais difícil. Sem o apoio amoroso e encorajador de minha família, certamente teria sido muito mais difícil chegar até aqui.

Gostaria de agradecer de maneira especial à minha namorada Amanda, que me ofereceu um suporte emocional inestimável ao longo de todo o processo. Ela esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis e me ajudou a superar os desafios com confiança e determinação.

Não posso deixar de expressar minha gratidão ao meu orientador, que dedicou inúmeras horas de seu tempo e energia para me guiar neste processo de pesquisa. Sua vasta experiência e conhecimento foram fundamentais para o sucesso deste trabalho, e seu feedback crítico e construtivo me ajudou a aprimorar minhas habilidades e a desenvolver uma dissertação sólida e coerente.

Também quero agradecer meu coorientador, que me ofereceu insights valiosos e orientação em várias etapas do trabalho. Sua contribuição foi fundamental para melhorar a qualidade da pesquisa.

Por fim, gostaria de agradecer à banca examinadora, pelos comentários, sugestões e críticas construtivas que me ajudaram a aprimorar meu trabalho. Cada membro da banca trouxe uma perspectiva única que ajudou a enriquecer o trabalho e aprimorar a qualidade da dissertação.

A todos vocês, meu mais sincero agradecimento por fazerem parte desta trajetória acadêmica e por terem contribuído para o meu crescimento pessoal e profissional. Espero continuar aprendendo e evoluindo com suas orientações e feedbacks, e seguir em frente na minha carreira com as habilidades e conhecimentos adquiridos neste trabalho de mestrado.

RESUMO

METODOLOGIA DE MODELAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DE BLOCKCHAIN EM PROCESSOS DE NEGÓCIO

AUTOR: Glênio Descovi de Freitas

ORIENTADOR: Alencar Machado

COORIENTADOR: Vinícius Maran

Blockchain é uma tecnologia recente e conhecida por ser amplamente utilizada em transações de criptomoedas. Esta tecnologia tornou-se popular com o Bitcoin, mas tem sido aplicada recentemente em muitas áreas, incluindo soluções nas áreas de saúde, transações financeiras e rastreabilidade de alimentos. Blockchain é definida como um livro-razão imutável, onde os sistemas podem armazenar transações, documentos, dados gerados em processos para utilização histórica, entre outros. Devido a sua popularidade e características, Blockchain tem sido utilizada para apoiar a área de gerenciamento de processos de negócios. Neste contexto, Blockchains podem ser utilizadas para auditabilidade e integridade dos dados gerados pelos processos, assim dando maior segurança que esses dados refletem o processo modelado e nunca foram alterados. A inclusão de informações em uma Blockchain normalmente passa por um conjunto de regras, estas chamadas de Smart Contracts. É uma tecnologia embarcada nas Blockchains, que, quando combinadas com tarefas de um processo de negócios, podem dar garantias de confiabilidade que uma tarefa executada não foi alterada. Neste contexto de aplicação, esta pesquisa apresenta uma metodologia de implementação de Blockchain a partir da necessidade de redesenho de um processo ou mesmo de alterações de regras de negócio de tarefas de um processo. A pesquisa visa ajudar a implementar Blockchains e Smart Contracts em sistemas legados que desejam integrar essa tecnologia ao processo que o sistema executa. O objetivo principal deste trabalho é propor uma metodologia para auxiliar a implementação e evolução de Blockchains sempre que um processo é redesenhado. A proposta foi avaliada através de prototipação e aplicação em um estudo de caso envolvendo o processo de certificação de granjas avícolas de reprodução do estado do Rio Grande do Sul. Conclui-se que através da avaliação foi possível observar como um processo de negócio pode sofrer alterações e evoluções mesmo utilizando a tecnologia Blockchain e Smart Contracts seguindo os passos existentes na metodologia proposta por este trabalho.

Palavras-chave: Blockchain. Processo de negócio. Contratos atualizáveis

ABSTRACT

BLOCKCHAIN MODELING AND IMPLEMENTATION METHODOLOGY IN BUSINESS PROCESSES

AUTHOR: Glênio Descovi de Freitas

ADVISOR: Alencar Machado

CO-ADVISOR: Vinícius Maran

Blockchain is a recent technology known to be widely used in cryptocurrency transactions. This technology became popular with Bitcoin but has recently been applied in many areas, including solutions in healthcare, financial transactions, and food traceability. Blockchain is defined as an immutable ledger, where systems can store transactions, documents, data generated in processes for historical use, among others. Due to its popularity and characteristics, Blockchain has been used to support the area of business process management. In this context, Blockchains can be used for auditability and integrity of the data generated by processes, thus providing greater security that this data reflects the modeled process and has never been altered. The inclusion of information in a Blockchain typically goes through a set of rules, called Smart Contracts. It is a technology embedded in Blockchains, which, when combined with tasks of a business process, can provide guarantees of reliability that an executed task has not been altered. In this application context, this research presents a methodology for implementing Blockchain based on the need to redesign a process or even change business rules of a process task. The research aims to help implement Blockchains and Smart Contracts in legacy systems that wish to integrate this technology into the process that the system executes. The main objective of this work is to propose a methodology to assist in the implementation and evolution of Blockchains whenever a process is redesigned. The proposal was evaluated through prototyping and application in a case study involving the certification process of poultry breeding farms in the state of Rio Grande do Sul. It was concluded that through the evaluation, it was possible to observe how a business process can undergo changes and evolutions even when using Blockchain and Smart Contracts by following the steps outlined in the methodology proposed by this work.

Keywords: Blockchain. Business Process. Upgradeable Smart Contracts

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Processo mapeado em BPMN.	13
Figura 2.2 – Ciclo de vida do processo.	15
Figura 2.3 – Blockchain com três blocos.	16
Figura 2.4 – Estrutura dos blocos.	17
Figura 2.5 – Exemplo de Smart Contract, no Solidity para um leilão.	19
Figura 3.1 – Exemplo de processo com Smart Contract e Blockchain.	28
Figura 3.2 – Exemplo de processo com Smart Contract e Blockchain quando processo redesenhado.	30
Figura 3.3 – Exemplo de processo com Smart Contract e Blockchain com contrato de proxy implementado.	31
Figura 4.1 – Tabela de critérios para selecionar os trabalhos relacionados.	34
Figura 5.1 – Relação entre os portais PDSA-RS.	36
Figura 5.2 – Processo idealizado integrando uma Blockchain ao PDSA-RS.	37
Figura 5.3 – Primeira Parte do processo de certificação de granjas avícolas de reprodução do estado do Rio Grande do Sul.	39
Figura 5.4 – Segunda Parte do processo de certificação de granjas avícolas de reprodução do estado do Rio Grande do Sul.	40
Figura 5.5 – Objeto das transações definido para o estudo de caso.	42
Figura 5.6 – Tecnologias utilizadas para o desenvolvimento da plataforma de Blockchain.	44
Figura 5.7 – Interface do contrato.	45
Figura 5.8 – Implementação do contrato de solicitar certificação.	46
Figura 5.9 – Implementação do contrato de proxy.	46
Figura 5.10 – Integrando o processo com a Blockchain	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>ADMIN</i>	Administrador
<i>APIs</i>	Application Programming Interface
<i>BPM</i>	Business Process Management
<i>BPMN</i>	Business Process Model and Notation
<i>ECDSA</i>	Algoritmo de Curva Elíptica
<i>MAPA</i>	Ministério Da Agricultura Pecuária e Abastecimento
<i>MISB</i>	Metodologia de modelagem e implementação de sistemas de Blockchain
<i>PDSA – RS</i>	Plataforma de Defesa sanitária Animal do Rio Grande do Sul
<i>POA</i>	Proof-of-Authority
<i>POS</i>	Proof-of-Stake
<i>POW</i>	Proof-of-work
<i>SGBDs</i>	Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados.
<i>SVE</i>	Serviço veterinário Estadual
<i>RTs</i>	Responsável Técnico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVO GERAL	10
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.2.1	Estudar e compreender a tecnologia Blockchain e seus agregados	10
1.2.2	Compreender a metodologia BPM e identificar como ela afeta na modelagem de processos	11
1.2.3	Desenvolver a Metodologia de modelagem e implementação de sistemas de Blockchains	11
1.2.4	Aplicar a metodologia desenvolvida	11
1.3	ESTRUTURA DO TEXTO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	BUSINESS PROCESS MANAGEMENT (BPM)	12
2.1.1	Business Process Model and Notation (BPMN)	13
2.1.2	Ciclo de vida do gerenciamento de processos de negócio	14
2.2	BLOCKCHAIN	16
2.2.1	Smart Contracts	18
3	METODOLOGIA DE MODELAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DE BLOCKCHAIN E SMART CONTRACTS PARA PROCESSOS DE NEGÓCIOS	21
3.1	METODOLOGIA DE MODELAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE BLOCKCHAIN (MISB)	21
3.1.1	Primeira fase - Aproveitar casos já disponíveis (sistemas sem Blockchain)	22
3.1.2	Segunda fase - Conhecer o processo	23
3.1.3	Terceira fase - Desenvolver o objeto das transações	24
3.1.4	Quarta fase - Escolha da plataforma de Blockchain que mais se adéqua a sua necessidade	25
3.1.5	Quinta fase - Modelar Smart Contracts	26
3.1.6	Sexta Fase - Integrar a Blockchain no processo	31
4	TRABALHOS RELACIONADOS	33
5	ESTUDO DE CASO	35
5.1	DEFINIÇÃO DO ESTUDO DE CASO	35
5.2	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NO ESTUDO DE CASO	36
5.2.1	Aplicando a segunda Fase - Conhecer o processo	38
5.2.2	Aplicando a terceira fase - Desenvolver o objeto de transações	40
5.2.3	Aplicando a quarta fase - Escolher a plataforma de Blockchain que mais se adéqua a sua necessidade	41
5.2.4	Aplicando a quinta fase - Modelar Smart Contracts	45
5.2.5	Aplicando a sexta fase - Integrar a Blockchain no processo	47
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
6	CONCLUSÃO	49
6.1	TRABALHOS FUTUROS	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1 INTRODUÇÃO

Blockchain tem despertado crescente interesse da indústria e da academia, especialmente com o advento de criptomoedas, como o Bitcoin (KOSBA et al., 2016). Essa tecnologia está em rápida expansão e sendo aplicada em diversas áreas, como processos de negócios, devido à sua versatilidade e ampla gama de aplicações. Suas principais características, como segurança, imutabilidade e transparência, a tornam uma excelente ferramenta para o gerenciamento e auditoria de processos.

Blockchain é uma tecnologia proposta pela primeira vez em meados de 2008. A tecnologia pode ser considerada um *Ledger*, ou seja, um livro de registros digital onde informações são registradas em uma cadeia de blocos que uma vez colocadas lá, não podem ser apagadas (NAKAMOTO; BITCOIN, 2008).

A tecnologia tem como objetivo preencher lacunas que foram identificadas em outras tecnologias, tais como a prestação de contas das transações, a imutabilidade das informações, ou seja, as informações fornecidas nunca poderão ser alteradas, gerenciamento de documentos, repositório único de informações, entre outros aspectos importantes (ZHENG et al., 2018).

No entanto, a aplicação da tecnologia Blockchain pode enfrentar alguns desafios, como restrições à escalabilidade, que dependem da quantidade de informações contidas em cada bloco. Essas limitações geralmente ocorrem quando a quantidade de dados ultrapassa um determinado limite de tamanho, comprometendo a segurança da rede e reduzindo sua escalabilidade. Em outras palavras, quanto mais segura a rede, mais lenta ela tende a ser. Isso ocorre porque os blocos são organizados em ordem cronológica e protegidos por criptografia, o que pode afetar o desempenho da rede (CROMAN et al., 2016).

Para utilizar Blockchains em processos de negócio é necessário levar em consideração todas as limitações que a tecnologia possui atualmente. Segundo (CONTI; GANGWAL; TODERO, 2019) as principais limitações são: supor que todos os nós da rede serão honestos, possui um grande gasto de poder computacional e de energia elétrica, ambiguidade no consenso por diferentes nós da rede nas transações confirmadas, o que leva à bifurcação da Blockchain.

Gestão focada em processos é amplamente utilizada no dia-a-dia das organizações (HAMMER, 2015), por isso é natural que existam projetos que utilizem Blockchains nesse escopo, gerenciando o monitoramento de processos ou até mesmo integrados ao processo, como o trabalho de (SCHINLE et al., 2020a), que integra uma Blockchain ao monitoramento do processo.

Uma tecnologia que pode ser embarcada nas Blockchains são os Smart Contracts, eles podem validar dados adicionando alguma regra necessária, também podem automa-

tizar algumas tarefas do processo, como por exemplo, após um pagamento ser efetivado, o contrato realiza as baixas necessárias para a conclusão da negociação. Portanto eles são definidos como programas auto-executáveis frequentemente usados para implementar regras de negócios ou mesmo para automatizar ações envolvendo Blockchains (ZHENG et al., 2018).

Porem a utilização destas tecnologias em processos de negócio sem o devido entendimento do processo, sem uma modelagem robusta e sem a noção de como funciona a tecnologia Blockchain e suas limitações pode acarretar em problemas após sua implementação (BARKER et al., 2019). Neste contexto, esta pesquisa apresenta uma metodologia de implementação de Blockchain a partir da necessidade de redesenho de um processo ou mesmo de alterações de regras de negócio de uma tarefa de um processo. Esta pesquisa visa auxiliar desenvolvedores e gestores na implementação de Blockchains e Smarts Contracts em sistemas legados que desejam integrar essa tecnologia ao processo que o sistema executa.

1.1 OBJETIVO GERAL

A pesquisa tem como objetivo geral criar uma metodologia de modelagem e implementação de Blockchains e Smart Contracts que apoiam processos de negócios, contemplando as eventuais mudanças em regra de negócios e redesenhos dos processos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Esta seção contextualiza os objetivos específicos, são metas que devem ser alcançadas para atingir um objetivo. Esses objetivos detalham as ações específicas que devem ser realizadas para alcançar o objetivo geral fornecendo uma direção mais clara para atingir o objetivo.

1.2.1 Estudar e compreender a tecnologia Blockchain e seus agregados

A tecnologia Blockchain pode ser considerada como um livro de registros imutável, onde podem ser adicionadas regras de negócio utilizando Smart Contracts (contratos), que como as Blockchains, também são imutáveis.

1.2.2 Compreender a metodologia BPM e identificar como ela afeta na modelagem de processos

O Business Process Management (BPM) é uma metodologia para a gestão de processos, podemos concluir que é uma forma de gerenciar processos sob uma perspectiva de negócios, visando sempre a melhoria do processo seguindo o ciclo de vida do gerenciamento de processos. A característica de evolução e redesenho de processos imputa um desafio a sistemas apoiados por Blockchains e Smart Contracts que não podem ser alterados.

1.2.3 Desenvolver a Metodologia de modelagem e implementação de sistemas de Blockchains

A evolução e redesenho de processos em sistemas suportados por Blockchains e Smart Contracts representam um desafio significativo. Para enfrentar esse desafio, uma metodologia foi desenvolvida para auxiliar na implementação e modelagem de Smart Contracts atualizáveis e Blockchains em sistemas legados que executam um processo específico.

1.2.4 Aplicar a metodologia desenvolvida

A fim de validar a metodologia desenvolvida, é necessário aplicá-la a um contexto real. Nesse sentido, a metodologia será testada em um caso prático: o processo de certificação de granjas avícolas de reprodução do estado do Rio Grande do Sul.

1.3 ESTRUTURA DO TEXTO

O restante do texto está organizado da seguinte forma: No Capítulo 2 é apresentada uma explicação dos principais conceitos para a compreensão da pesquisa. No Capítulo 3 é apresentada a metodologia proposta neste trabalho. No Capítulo 4 são apresentados os trabalhos relacionados à pesquisa. No Capítulo 5 será apresentado o estudo de caso e a discussão dos resultados de avaliação observados após a aplicação da metodologia proposta, e por fim, no Capítulo 6 são apresentadas as conclusões do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta uma contextualização dos conceitos fundamentais utilizados na pesquisa, a fim de facilitar a compreensão das motivações para a realização deste trabalho. Serão abordados conceitos como *Business Process Management (BPM)* e *Business Process Model and Notation (BPMN)*, que são ferramentas de gerenciamento de processos de negócio amplamente utilizadas na indústria. Além disso, será apresentado o ciclo de vida do gerenciamento de processos de negócio, que descreve as etapas envolvidas na melhoria e transformação de processos de negócio.

Será discutido também o conceito de Blockchain, que é uma tecnologia de registro distribuído que garante segurança, transparência e confiabilidade na troca de informações e transações. Além disso, será abordado o conceito de Smart Contracts, que são contratos inteligentes baseados em código que executam automaticamente as condições estabelecidas.

Esses conceitos serão explorados com o objetivo de mostrar como a metodologia proposta neste trabalho pode ser aplicada para integrar as tecnologias de Blockchain e Smart Contracts aos processos de negócio.

2.1 BUSINESS PROCESS MANAGEMENT (BPM)

BPM é definido por (AALST W.M.P.; WESKE, 2003) como uma abordagem sistemática para tornar os processos de uma organização mais eficientes e dinâmicos, tem como principais objetivos *"apojar processos de negócios usando métodos, técnicas e software para projetar, executar, controlar e analisar processos operacionais envolvendo humanos, organizações, aplicativos, documentos e outras fontes de informação"* (AALST W.M.P.; WESKE, 2003).

Um processo de negócios é uma série de etapas executadas para atingir um objetivo concreto, onde cada etapa do processo é uma tarefa atribuída a um participante e é fundamental para o gerenciamento dos processos de negócios. Portanto, há grande vantagem e necessidade nas grandes organizações de um processo bem definido para agilizar as atividades, garantindo assim que os recursos sejam alocados da melhor forma possível. BPM refere-se a uma coleção de ferramentas e métodos para alcançar uma compreensão, gerenciar e melhorar o portfólio de processos de uma organização (zur Muehlen; INDULSKA, 2010).

Um processo é composto por tarefas, as quais podem se referir a um trabalho que precisa ser executado manualmente ou a um trabalho que pode ser feito automaticamente por um sistema. A automação de uma sequência de tarefas dentro de um processo por um

sistema é muitas vezes também chamada de *Workflow* (LUDÄSCHER et al., 2009), esses sistemas podem ser baseados em Blockchain, ou seja, implementam a tecnologia como base ou como complemento ao sistema existente.

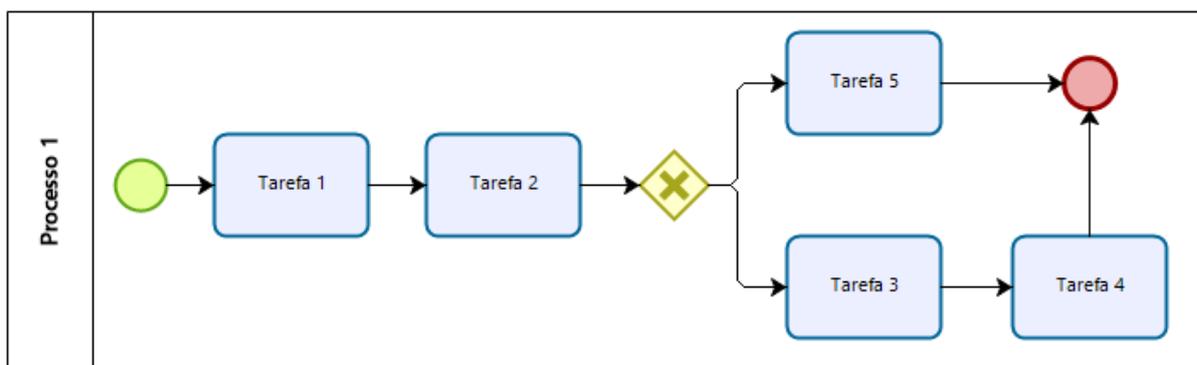
A melhoria contínua é uma das principais filosofias de BPM, ou seja, visa sempre melhorar a execução dos processos de negócio. Para modelar graficamente esses processos de negócio, existe uma linguagem altamente difundida no contexto de modelagem de processos de negócio chamada *Business Process Model and Notation* (BPMN). A notação BPMN apresenta um gráfico feito a partir de ícones que demonstram o fluxo de um determinado processo.

2.1.1 Business Process Model and Notation (BPMN)

O BPMN aborda o design do processo através de um conjunto de elementos gráficos que remetem a uma linguagem de modelagem de processos de negócio (MOUS K.; LEE, 2007). Como uma notação gráfica, esta linguagem tem como objetivo preencher a lacuna entre os analistas de TI e de negócios (OMG NEEDHAM, 2007).

Notavelmente, o BPMN é capaz de modelar processos privados (internos), processos públicos (abstratos) e processos de colaboração (globais) em diferentes níveis de granularidade (MOUS K.; LEE, 2007). Notações gráficas como BPMN são fáceis de entender e usar para usuários de negócios não técnicos, ajudando na compreensão do processo, suas etapas e tarefas (KO R.K.L.; LEE, 2009). Um exemplo de processo modelado em BPMN é apresentado na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Processo mapeado em BPMN.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 2.1 ilustra um processo chamado *Processo 1*. O processo possui um início identificado no círculo verde. Existem tarefas designadas neste processo de 1 (um) a 5 (cinco). Após a execução da tarefa 2 (dois), existe uma condição que pode levar a tarefa 5 (cinco) ou para a tarefa 3 (três) até chegar no círculo vermelho que representa o

término do processo.

Um modelo é uma representação de um processo de negócio, que reflete sua realidade, mostrando todas as informações necessárias sobre o comportamento do processo. O processo modelado é então analisado e melhorado em vez do processo de negócios real.

Para o conhecimento do processo nada melhor do que mapear o processo 'AS-IS', a partir do modelo, é possível identificar características particulares de um determinado processo e por consequência, remodelar o processo para que cada vez seja mais performático. A modelagem dos processos permite aos seus executores uma melhor visualização do fluxo de trabalho e oferece melhor compreensão sobre as tarefas realizadas de ponta a ponta (PALACIOS, 2020).

O processo 'AS-IS' é a visão do processo atual, ou seja, como ele está no momento. É comum que o termo AS-IS seja utilizado como sinônimo para análise de processos (BPM CBOK), essa etapa é anterior à fase de melhorias, chamado de 'TO-BE'. O 'TO-BE' é também chamado de redesenho de processos. Seu objetivo é propor melhorias nos processos, com base no que foi verificado no 'AS-IS' (BPM CBOK).

O redesenho de processos 'TO-BE' envolve definir o fluxo de trabalho, os papéis e responsabilidades, as tecnologias necessárias ao processo, as fontes de dados e os momentos de integração com outros processos. Promovendo assim condições reais de transformação nos processos, melhorando sua performance (BPM CBOK).

2.1.2 Ciclo de vida do gerenciamento de processos de negócio

O desenvolvimento do BPM pode ser definido no ciclo de vida de um processo, definido nas seguintes etapas (DUMAS M., 2013), organizadas conforme apresentado na Figura 2.2:

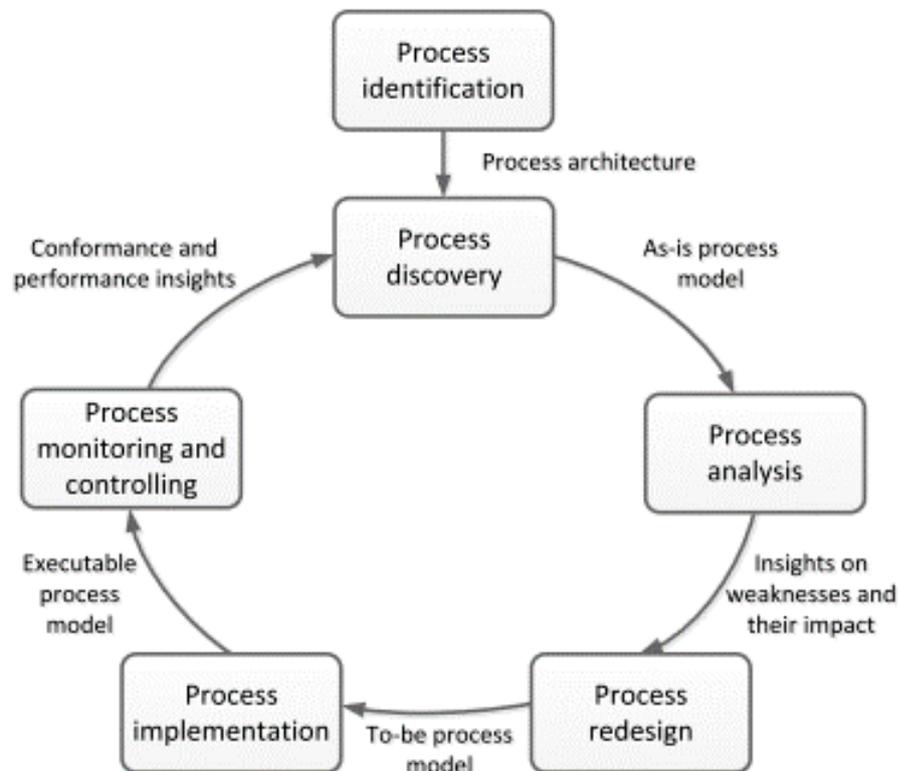
Etapa 1: Identificação do processo: Nesta etapa, um problema de negócio é definido como escopo de trabalho, onde são identificados os processos relevantes para o problema a ser tratado. O resultado da identificação fornece uma visão geral dos processos em uma organização e seus relacionamentos. Em alguns casos, a identificação do processo é feita em paralelo com a identificação da medida de desempenho;

Passo 2: Descoberta do processo: Também chamado de modelagem de processos, neste passo cada um dos processos relevantes é documentado. O propósito desta fase é geralmente descobrir o processo, não desenhá-lo;

Passo 3: Análise do processo: Nesta etapa, os problemas associados ao processo são identificados, documentados e quantificados de acordo com o seu desempenho. Após esta fase, o objetivo é ter um conjunto de problemas a serem corrigidos;

Passo 4: Redesenho do processo: Também chamado de melhoria do processo.

Figura 2.2 – Ciclo de vida do processo.



Fonte: (DUMAS M., 2013)

Nesta etapa, o objetivo é identificar mudanças no processo que ajudem a resolver os problemas identificados na Etapa 3;

Passo 5: Implementação do processo: Aqui são preparadas e executadas as mudanças necessárias para passar do processo tal como está para o processo futuro redesenhado no Passo 4;

Passo 6: Monitoramento e controle do processo: Uma vez que o processo redesenhado já está em execução, os dados relevantes são coletados e analisados para ver quão bom o processo é e quão bem ele executa. Aqui os erros e gargalos são identificados e as ações corretivas são aplicadas.

O monitoramento de processos de negócios visa identificar o desempenho dos processos em execução em relação às medidas e objetivos de desempenho (SCHINLE et al., 2020a).

Devido às suas propriedades, um Blockchain pode ser adotado como uma infraestrutura distribuída sobre a qual um novo tipo de plataforma de monitoramento de processos de negócios pode ser construído (CICCIO; MERONI; PLEBANI, 2020).

Passo 7: Repetir: repetir o ciclo para que cada vez o processo obtenha mais desempenho e qualidade.

Conforme apresentado na Figura 2.2, uma das fases para gestão de processos de

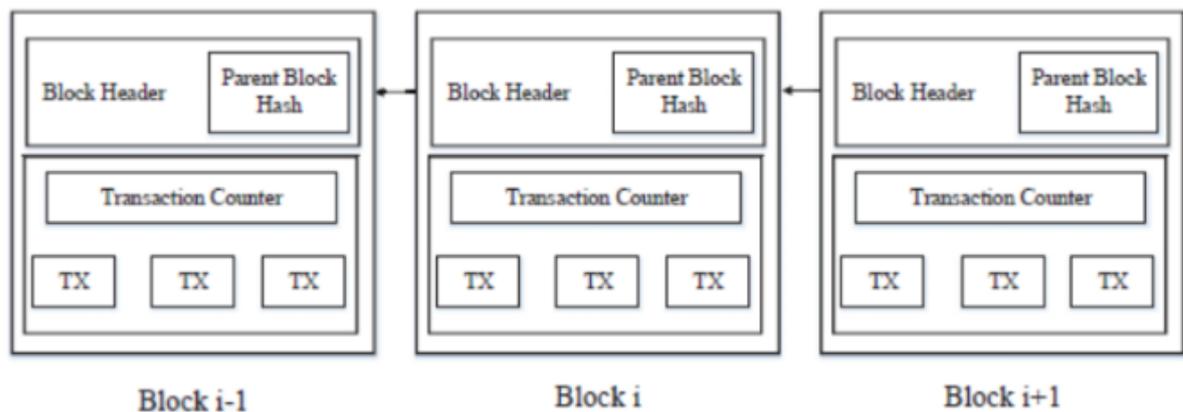
negócio é o redesenho de processo. Para sistemas que são suportados por Blockchain, esta fase impacta diretamente na reimplementação e adaptação da Blockchain. Neste contexto, a próxima seção apresenta os principais conceitos e características relacionadas à tecnologia Blockchain.

2.2 BLOCKCHAIN

Blockchain é uma tecnologia emergente que foi proposta pela primeira vez em meados de 2008 e implementada em 2009 (NAKAMOTO; BITCOIN, 2008). A tecnologia pode ser considerada um *Ledger*, ou seja, um livro de registros digitais onde cada transação é registrada em uma cadeia de blocos que uma vez registradas, não podem ser apagadas, a cadeia também cresce gradativamente ao inserir novos blocos nela (ZHENG et al., 2018).

As características básicas de uma Blockchain são: descentralização, persistência, anonimato e auditabilidade das informações contidas na cadeia de blocos. Ela pode funcionar em um ambiente descentralizado, pois utiliza técnicas de segurança (hashing criptográfico, assinatura digital baseada em criptografia assimétrica) e o mecanismo de consenso distribuído (ZHENG et al., 2018), reduzindo custos e melhorando a eficiência das transações, sem a necessidade de um mediador como um cartório.

Figura 2.3 – Blockchain com três blocos.



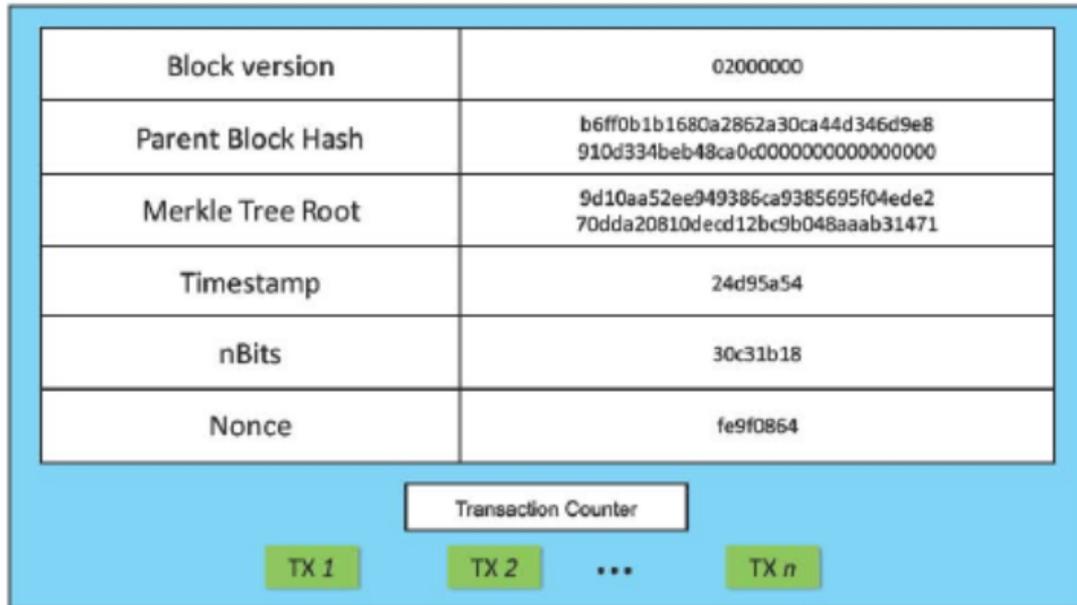
Fonte: (ZHENG et al., 2018)

A tecnologia Blockchain forma uma cadeia de blocos ou sequência de blocos, que contém o registro das transações realizadas e adicionadas ao Blockchain (WANG; HAN; BEYNON-DAVIES, 2019). Um exemplo é apresentado na Figura 2.3.

Cada bloco tem uma referência ao bloco anterior, a referência é um valor de *hash* para todo o bloco (ZHENG et al., 2018), portanto, se houver uma mudança no bloco, a mudança será notada. De acordo com (ZHENG et al., 2018), o bloco possui os seguintes

elementos: cabeçalho (*Header*) e corpo. Um exemplo da estrutura do bloco e um exemplo de dados usados em um bloco é apresentado na Figura 2.4.

Figura 2.4 – Estrutura dos blocos.



Fonte: (ZHENG et al., 2018)

O elemento *Header* possui as seguintes informações:

I - Versão do bloco;

II - Hash do bloco pai;

III - Valor do hash de todas as transações do bloco;

IV - Timestamp de criação do bloco;

V - Nonce, valor adicionado ao bloco para dar variabilidade ao valor de hash do bloco (MIERS et al., 2019);

O corpo do bloco é composto por um contador de transações. A Blockchain usa um mecanismo de criptografia assimétrica para validar a autenticação de transação (OMOHUNDRO, 2014).

Dentro da arquitetura, é preciso falar sobre a assinatura digital, onde cada usuário possui um par de chaves, uma pública e outra privada, na qual a chave privada é utilizada para assinar transações. Os algoritmos mais usados para cadeia de blocos, como o Blockchain de assinatura digital, incluem o Algoritmo de Curva Elíptica (ECDSA) (JOHNSON; MENEZES; VANSTONE, 2001). A arquitetura também é composta por consenso, eles garantem estabilidade e valida as transações para garantir uma ordem transacional dentro da rede Blockchain, para isso existem algoritmos de consenso.

Todos os nós em um Blockchain têm uma cópia exata dos blocos que o compõem (MIERS et al., 2019). Para que um novo bloco seja inserido, o Blockchain utiliza algoritmos de consenso. Os mais populares são:

Proof-of-Work (PoW): Este algoritmo é usado atualmente no Bitcoin e tem um enorme gasto de energia. Todos os nós da rede precisam a todo momento calcular um *Hash* específico usando diferentes *nonces*, ao encontrar este *Hash* o nó informa aos demais nós, eles devem confirmar este Hash e então validar a transação. Devido a esse comportamento, esse algoritmo é chamado de mineração (MIERS et al., 2019).

Nonce são números aleatórios únicos que no Bitcoin são usados na validação de blocos. Eles são usados para encontrar um valor de *hash* válido, quanto maior a dificuldade do *nonce*, ou seja, quanto maior o número de zeros à esquerda do número do *nonce*, o número de hashes válidos possíveis diminui.

Proof-of-Stake (PoS): Comparado ao PoW, o PoS economiza mais energia e é mais eficaz, pois ao invés de exigir nós para minerar, neste algoritmo a maior possibilidade de minerar o próximo bloco é daqueles que têm uma quantidade maior de moedas. Algumas redes Blockchain para não favorecer os mais ricos usam mecanismos de randomização para escolher o próximo nó que validará o bloco (ZHENG et al., 2018).

Proof-of-Authority (PoA): Este algoritmo é usado em redes Blockchain privadas. É um consenso onde um conjunto de autoridades é responsável por validar as transações, e para enviar ou criar um bloco válido, o responsável pela criação do bloco requer a aprovação de todas as autoridades envolvidas nesta rede Blockchain (MIERS et al., 2019).

Uma tecnologia utilizada para validar os dados armazenados nos blocos são os Smart Contracts, pois com eles é possível implementar regras de negócio que definem o comportamento de uma Blockchain, podendo assim adaptar a Blockchain sempre que regras de negócio de um processo mudam.

2.2.1 Smart Contracts

Smart Contracts (WANG et al., 2019) são programas auto-executáveis que atuam nos termos e condições de um determinado acordo ou contrato usando uma linguagem de programa e uma infraestrutura computacional. No contexto das Blockchains, são programas persistentes, que podem controlar uma transação.

Atualmente, com o crescimento das criptomoedas, como Ethereum (BUTERIN et al., 2014), o uso de Smart Contracts cresceu, e atualmente bilhões de dólares são tratados por transações usando Smart Contracts. A Figura 2.5 ilustra um exemplo de Smart Contracts, escrito em linguagem Solidity, onde é implementada uma regra de negócio para um leilão online, por este motivo, os Smart Contracts apresentam uma grande área a ser explorada.

A preocupação com a precisão e segurança desses contratos tornou-se um problema pertinente, sendo drasticamente agravado pelo fato de que, ao implantar um Smart Contracts em uma Blockchain, o código se transforma em um bloco, portanto, como qual-

Figura 2.5 – Exemplo de Smart Contract, no Solidity para um leilão.

```

// Versão suportada do Solidity
pragma solidity >=0.4.22 <0.6.0;

contract LeilaoSimples {
    address payable public beneficiario;
    // Tempo é representado como um timestamp Unix, por isso
    // é um inteiro
    uint public tempoParaFinalizar;

    // Estado atual do leilão
    address public maiorOfertante;
    uint public maiorLance;

    bool terminou;

    constructor(
        uint _tempoParaOfertas,
        address payable _beneficiario
    ) public {
        beneficiario = _beneficiario;
        tempoParaFinalizar = now + _tempoParaOfertas;
        terminou = false;
    }

    function darLance() public payable {
        require(
            now <= tempoParaFinalizar,
            "O leilão já acabou."
        );
        require(
            msg.value > maiorLance,
            "Já existe uma oferta maior."
        );

        maiorOfertante = msg.sender;
        maiorLance = msg.value;
    }

    function terminarLeilao() public {
        require(
            now >= tempoParaFinalizar,
            "Leilão ainda não acabou."
        );
        require(
            !terminou,
            "Final do leilão já foi realizado."
        );

        terminou = true;

        beneficiario.transfer(maiorLance);
    }
}

```

Fonte: Autoria própria

quer outro bloco, é imutável. É impossível remover ou alterar o código deste contrato, que conseqüentemente, se contiver bugs, não poderá ser corrigido após sua implantação, sendo um problema para o redesenho de processos de negócio.

Os Smart Contracts são uma tecnologia fundamental para que um Blockchain seja mais flexível em sua aplicação, tornando viável a implementação de regras de negócio necessárias para a conclusão de uma transação, ampliando os horizontes de casos de

uso da tecnologia, facilitando a modelagem de diferentes domínios. Entretanto, quando se trata de obter informações importadas de fora da Blockchain, para que a regra de negócio seja aplicada, inserimos os oráculos, fontes de dados confiáveis que oferecem informações determinísticas para o Blockchain através dos contratos.

Oráculos, são sistemas externos que podem ser usados para obter dados externos para complementar os dados das Blockchains. Por exemplo, taxas de câmbio mudam rapidamente, sendo que informações externas podem facilmente fornecer valores não determinísticos que variam de acordo com sua fonte de conversão. O oráculo, então, gerencia as fontes de dados das quais o Blockchain depende para assegurar que valores fixos sejam fornecidos, possibilitando à aplicação lidar com variações de valores necessários para o funcionamento (IBM, 2023).

A flexibilidade produzida com o uso de Smarts Contracts ainda é impactada pela fase de redesenho de processos de negócios usando Blockchain, pois o contrato não é flexível para alterações após estar vigente, implicando em alguns casos sérios problemas, como por exemplo, uma determinada mudança de regra de negócio de uma tarefa em um processo pode impactar na necessidade de alteração do contrato. Para a flexibilidade necessária neste contexto existem algumas técnicas que podem ser implementadas como os contratos de proxy que serão explicados mais adiante.

A metodologia proposta neste trabalho, apresentada no próximo capítulo, tem como objetivo dar suporte a evolução de Blockchains sempre que um processo é redesenhado.

3 METODOLOGIA DE MODELAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DE BLOCKCHAIN E SMART CONTRACTS PARA PROCESSOS DE NEGÓCIOS

A visão extraordinária de uma arquitetura *peer-to-peer* de dinheiro eletrônico publicado em 2008 por Satoshi Nakamoto (NAKAMOTO; BITCOIN, 2008), tornou-se entre a comunidade de desenvolvedores uma tendência de pesquisa e aplicação. Contudo, foi o conceito de criptomoedas e o próprio Bitcoin que inicialmente captaram a atenção de todos.

Blockchain então se tornou uma novidade e muitos desenvolvedores começaram a utilizar a tecnologia em diversos domínios de aplicação, realizando a inserção e manipulação de dados com algoritmos e *Smart Contracts*. A criação de aplicações e tecnologias associadas, muitas vezes sem padrões definidos, resultaram em uma série de problemas (BARKER et al., 2019), pois é necessário que desenvolvedores dominem arquiteturas, conceitos e o processo onde a tecnologia será inserida.

Existem problemas que surgem após a implementação de uma Blockchain e Smarts Contracts em processos de negócios, como por exemplo, o ciclo de vida do processo, onde se busca sempre a melhoria do processo. Uma das etapas desta melhoria do processo é chamada de redesenho de processo, a qual poderá impactar na atualização da Blockchain.

Devido a esse desafio, este capítulo irá apresentar a proposta de uma metodologia de modelagem e implementação de Blockchain em processos de negócios chamada Metodologia de modelagem e Implementação de Sistemas de Blockchain (MISB), para auxiliar a modelagem e criação destes sistemas adequando a tecnologia conforme as fases de melhoria do processo são executadas pela era de gestão de processos.

3.1 METODOLOGIA DE MODELAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE BLOCKCHAIN (MISB)

A metodologia MISB apresentada nesta pesquisa é uma abordagem eficaz para identificar, modelar e implementar as mudanças necessárias nas Blockchains após a evolução ocasionada pelo redesenho dos processos de negócios.

A metodologia é composta por seis fases sequenciais. A primeira fase envolve a identificação do processo de negócio e a verificação da existência de casos que possam resolver o problema apresentado. Na segunda fase, o processo é modelado, levando em consideração as interações que terão com a tecnologia Blockchain. A terceira fase está relacionada ao objeto que será utilizado nas transações, enquanto a quarta fase se concentra na escolha da plataforma Blockchain que mais se adéqua às necessidades do projeto. A quinta fase é dedicada à implementação de Smart Contracts, e a sexta e última fase integra

a Blockchain ao processo.

A metodologia proposta pode ser utilizada tanto por sistemas que não possuem processos mapeados quanto por sistemas que já possuem processos mapeados. No primeiro caso, a metodologia pode ser usada para ajudar a mapear e entender o processo, permitindo uma melhor compreensão do fluxo de trabalho e dos pontos de melhoria potenciais. No segundo caso, a metodologia pode ser usada para identificar pontos de melhoria adicionais, refinando ou otimizando o processo e identificando possíveis pontos de interação com a Blockchain.

3.1.1 Primeira fase - Aproveitar casos já disponíveis (sistemas sem Blockchain)

Antes de começar a desenvolver uma aplicação baseada em Blockchain, a equipe responsável realiza uma avaliação cuidadosa dos casos de uso que descrevem as melhores práticas para o problema que pretendem resolver com essa tecnologia.

Os casos de uso que descrevem as melhores práticas para a aplicação da tecnologia Blockchain, podem variar dependendo do problema que se pretende resolver. No entanto, alguns exemplos comuns incluem: transações financeiras seguras e transparentes, gerenciamento de cadeias de suprimentos, gestão de dados de saúde entre outros.

É importante ressaltar que, em alguns casos, pode existir uma solução alternativa mais adequadas do que o uso de Blockchain. Por exemplo, em um processo que envolve a necessidade de armazenar documentos importantes e garantir que eles não sejam adulterados, os desenvolvedores podem questionar se o uso de Blockchain é realmente necessário ou se arquivos PDF assinados digitalmente já atendem a esse requisito.

Existem diversas fontes para encontrar casos de sistemas com Blockchain que podem ser aplicados em processos de negócio, algumas delas são:

I - Estudos de caso de empresas que já implementaram soluções Blockchain em seus processos de negócio, como IBM, Microsoft entre outras.

II - Fóruns e grupos de discussão especializados em Blockchain. Nessas comunidades, a equipe pode trocar experiências e ideias com pessoas que já utilizam a tecnologia em seus projetos.

III - Eventos e conferências de Blockchain, que são ótimas oportunidades para conhecer as novidades e tendências da área, além de fazer *networking* com profissionais do setor.

IV - Plataformas de compartilhamento de informações e conhecimento, como Medium e LinkedIn, onde especialistas em Blockchain compartilham suas experiências e aprendizados.

É importante lembrar que cada processo de negócio é único e deve ser avaliado individualmente para determinar se o uso de Blockchain é a melhor solução para o problema

em questão.

Primeiramente, a equipe responsável deve realizar uma análise cuidadosa do processo e identificar quais são os requisitos de segurança necessários. Em seguida, é fundamental avaliar se o uso de Blockchain é realmente necessário para atender a esses requisitos ou se existem outras tecnologias alternativas que possam ser mais eficientes e econômicas. Tomando como exemplo a situação de documentos assinados digitalmente, seria interessante avaliar a utilização de assinaturas digitais em arquivos PDF, uma vez que esta tecnologia já é amplamente utilizada para garantir a autenticidade e a integridade de documentos digitais.

Após a avaliação inicial e a decisão de utilizar uma solução baseada em Blockchain, é necessário modelar o processo, o que marca o início da segunda fase da metodologia

3.1.2 Segunda fase - Conhecer o processo

A modelagem de processos de negócios é uma técnica utilizada para gerenciar uma série de tarefas e procedimentos em uma empresa (SCHOLZ-REITER; STICKEL, 1996). Para implementar a Blockchain, Smart Contracts e Oráculos nesses processos, é necessário realizar a identificação das interações que serão necessárias.

Para realizar a identificação das interações que o processo terá com a Blockchain, Smart Contracts e Oráculos, é necessário seguir os seguintes passos:

I- Identificar os requisitos do processo é uma etapa crucial para o sucesso de qualquer projeto. Para isso, é necessário identificar os dados necessários, as tarefas envolvidas, as restrições e os eventos que possam ocorrer durante o processo. Para obter essas informações, é recomendado modelar o processo usando uma linguagem de mapeamento específica, o que ajudará a visualizar e entender melhor o fluxo do processo

II- Após identificar os requisitos do processo, é fundamental analisá-lo a fim de identificar as possíveis interações de utilização da Blockchain, Smart Contracts e Oráculos. Essa análise é feita através do modelo BPMN do processo, permitindo uma avaliação mais detalhada do fluxo e identificação de pontos críticos.

III- Após a análise do processo, torna-se possível identificar as interações que serão estabelecidas entre o processo e as tecnologias de Blockchain, Smart Contracts e Oráculos. Essas interações podem se manifestar de diversas formas, tais como leitura e gravação de dados, execução de tarefas e busca de informações externas, entre outras

IV- A escolha do uso de Smart Contracts e Oráculos é essencial para a aplicação bem-sucedida de tecnologias Blockchain em um processo. Os Smart Contracts são especialmente recomendados quando se faz necessário a automatização e execução de tarefas com base em eventos ou condições específicas. Por outro lado, os Oráculos são ferramentas úteis para a busca de dados externos à Blockchain, tais como informações

de preços ou eventos de mercado, e podem ser integrados ao processo para aprimorar a qualidade das informações utilizadas.

Em resumo, a identificação das interações com a Blockchain, Smart Contracts e Oráculos é uma etapa crucial na implementação desses sistemas em processos de negócios. A escolha do uso dessas tecnologias deve ser baseada na automação e execução de tarefas específicas, bem como na necessidade de buscar dados externos à Blockchain.

A solução de modelagem de processos de negócios utiliza diferentes técnicas e linguagens de modelagem para gerar um modelo que descreve um processo de negócio específico em uma empresa (SCHOLZ-REITER; STICKEL, 1996). Ao final desta fase, é esperado obter um conjunto de artefatos que descrevem o processo. Esses artefatos podem ser representados em diagramas BPMN, que ajudam a visualizar o fluxo do processo e as interações com a Blockchain.

Essa documentação é essencial para garantir a compreensão e a implementação correta do processo na Blockchain, bem como para facilitar a manutenção e a evolução do processo ao longo do tempo.

3.1.3 Terceira fase - Desenvolver o objeto das transações

A terceira fase da metodologia MISB envolve o desenvolvimento do modelo de objeto do sistema, o qual é criado com base nas informações coletadas na etapa anterior, que permitiu a visualização do processo.

Nesta etapa, os desenvolvedores devem definir quais informações devem ser mantidas como imutáveis e armazenadas na Blockchain.

Para evitar que o tamanho da Blockchain comprometa a escalabilidade, é importante definir criteriosamente quais informações devem ser armazenadas como imutáveis na Blockchain (CROMAN et al., 2016). Para isso, é preciso levar em consideração o tamanho das informações a serem armazenadas e a frequência de atualização dessas informações.

Uma forma de reduzir o tamanho da Blockchain é armazenar apenas as informações críticas que são necessárias para a integridade do processo ou para a tomada de decisões importantes.

Em geral, é preciso fazer um balanceamento entre a quantidade e relevância das informações a serem armazenadas e o impacto que isso terá na escalabilidade da Blockchain ao longo do tempo.

Outro aspecto importante é a definição do formato das transações, que devem seguir um padrão consistente para serem processadas pela Blockchain. O objeto criado deve ser integrado à Blockchain, codificando-o em uma linguagem de programação.

É essencial testar o objeto para garantir que suporte todas as informações neces-

sárias e otimizá-lo para melhorar o desempenho da Blockchain.

Os testes a serem realizados no objeto desenvolvido para a Blockchain podem incluir:

I- Testes de integridade: Verificar se os dados armazenados na Blockchain correspondem aos dados esperados e se não há perda de informações.

II- Testes de escalabilidade: Testar a capacidade do objeto de lidar com um grande volume de transações e informações sem afetar o desempenho da rede.

III- Testes de conformidade: Verificar se o objeto está em conformidade com as regras e regulamentos aplicáveis no processo.

Esses testes devem ser realizados continuamente ao longo do tempo, pois as condições e requisitos do processo podem mudar. É importante monitorar a Blockchain e o objeto de transações para garantir que eles continuem funcionando corretamente e fazer ajustes conforme necessário.

3.1.4 Quarta fase - Escolha da plataforma de Blockchain que mais se adéqua a sua necessidade

Atualmente, a criação de uma rede de Blockchain escalável com as tecnologias existentes é uma tarefa de configuração muito complexa. Por esse motivo há muitas plataformas e ferramentas de desenvolvimento voltadas à criação de aplicações de Blockchain. Para auxiliar esse requisito, deve-se identificar softwares que utilizam Blockchain, que realizam tarefas semelhantes as da estrutura do processo que a Blockchain será aplicada, identificando qual é a plataforma utilizada, deste modo é possível obter uma melhor assertividade na escolha.

O uso da plataforma escolhida precisa ser de simples implementação, flexível e adaptável para o uso do processo que será aplicada. A escolha da plataforma ideal deve levar em conta a curva de aprendizado da equipe para realizar a implementação.

Portanto é necessário também que a plataforma possua a capacidade de integração às tecnologias existentes no processo, como por exemplo, integração com o software da gestão do processo incluindo a capacidade de definir quais aplicativos de terceiros são acessíveis, como por exemplos, os oráculos (IBM, 2023).

Porém também existe a possibilidade da escolha ser o desenvolvimento de uma plataforma própria de Blockchain, assim conseguindo escolher a tecnologia que a equipe de trabalho possua mais facilidade para o desenvolvimento da Blockchain. As plataformas mais populares são:

I- Hyperledger Fabric (FOUNDATION, 2023);

II- Oracle Blockchain Platform (ORACLE, 2023);

III- IBM Blockchain Platform (IBM, 2023);

IV- Amazon Managed Blockchain (AMAZON, 2023).

Após a escolha da plataforma, o próximo passo é o desenvolvimento dos Smarts Contracts. Dependendo da plataforma escolhida, a tecnologia dos contratos pode mudar.

Atualmente, criar uma rede de Blockchain escalável usando as tecnologias existentes é uma tarefa complexa que exige configuração especializada. É por isso que existem muitas plataformas e ferramentas de desenvolvimento focadas em criar aplicações de Blockchain. Para ajudar nessa tarefa, é importante identificar softwares que utilizem Blockchain e realizem tarefas semelhantes à estrutura do processo em que a Blockchain será aplicada. Dessa forma, é possível obter maior precisão na escolha da plataforma adequada.

A plataforma escolhida deve ser de fácil implementação, flexível e adaptável para atender às necessidades do processo em que será aplicada. Além disso, a escolha deve levar em consideração a curva de aprendizado da equipe para garantir uma implementação tranquila.

É fundamental que a plataforma possua capacidade de integração com as tecnologias existentes no processo, como softwares de gestão e a capacidade de definir quais aplicativos de terceiros são acessíveis, como por exemplo, os oráculos (IBM, 2023).

No entanto, outra opção é desenvolver uma plataforma de Blockchain própria, permitindo que a equipe escolha a tecnologia mais adequada para o desenvolvimento. As plataformas mais populares são:

I- Hyperledger Fabric (FOUNDATION, 2023);

II- Oracle Blockchain Platform (ORACLE, 2023);

III- IBM Blockchain Platform (IBM, 2023);

IV- Amazon Managed Blockchain (AMAZON, 2023).

Depois de escolher a plataforma, o próximo passo é desenvolver os Smart Contracts. Dependendo da plataforma escolhida, a tecnologia dos contratos pode variar.

3.1.5 Quinta fase - Modelar Smart Contracts

A modelagem de Smart Contracts (contratos inteligentes) é um processo crucial para garantir que os contratos sejam bem definidos e executados de forma eficiente na Blockchain. Existem várias abordagens para modelar Smart Contracts, e a escolha da abordagem apropriada depende do objetivo e da complexidade do contrato.

Como por exemplo, modelagem baseada em regras, essa abordagem envolve definir regras explícitas que direcionam o comportamento do Smart Contract. Quando uma condição é atendida, o contrato executa uma ação específica, outra é a modelagem baseada em lógica de negócios, essa abordagem envolve codificar a lógica de negócios diretamente no Smart Contract. O contrato executa ações diferentes com base nas condições

de negócios definidas.

Essas são algumas das abordagens para modelar Smart Contracts, mas outras abordagens também podem ser usadas dependendo do caso de uso específico. É importante escolher a abordagem correta para garantir que o Smart Contract execute corretamente e atenda às necessidades dos usuários.

Além disso, é importante garantir que os Smart Contracts sejam flexíveis e possam ser atualizados sem quebra de contrato. Existem várias técnicas que podem ser usadas para tornar os Smart Contracts flexíveis, sendo uma delas os contratos de proxy, permitem que novos contratos sejam implantados para substituir versões anteriores sem quebra de contrato.

Além dos contratos de proxy, existem outras técnicas para tornar os Smart Contracts atualizáveis sem quebra de contrato. Como por exemplo, contratos de biblioteca, essa técnica envolve a criação de um contrato que contém funções compartilhadas entre vários contratos diferentes (ETHEREUM, 2023). Essa abordagem permite atualizar a funcionalidade compartilhada sem afetar os contratos que usam essa funcionalidade, outra técnica são os contratos de atualização, essa técnica envolve a criação de um novo contrato que contém as atualizações necessárias (LI W., 2019). O contrato antigo é desativado e o novo contrato é ativado, transferindo todos os dados e o histórico de transações do contrato antigo para o novo contrato.

Essas técnicas podem ajudar a garantir que os Smart Contracts sejam flexíveis e possam se adaptar às mudanças nos processos que possuem Blockchain implementada. No entanto, a modelagem de Smart Contracts e sua flexibilidade devem ser cuidadosamente planejadas e implementadas para garantir a segurança e a confiabilidade do contrato. Existem vários critérios que devem ser observados para garantir a segurança e confiabilidade de Smart Contracts. Segundo (DINH et al., 2019), a verificação formal, é importante que o contrato seja verificado formalmente para garantir que ele atenda aos requisitos de segurança e funcionamento esperados.

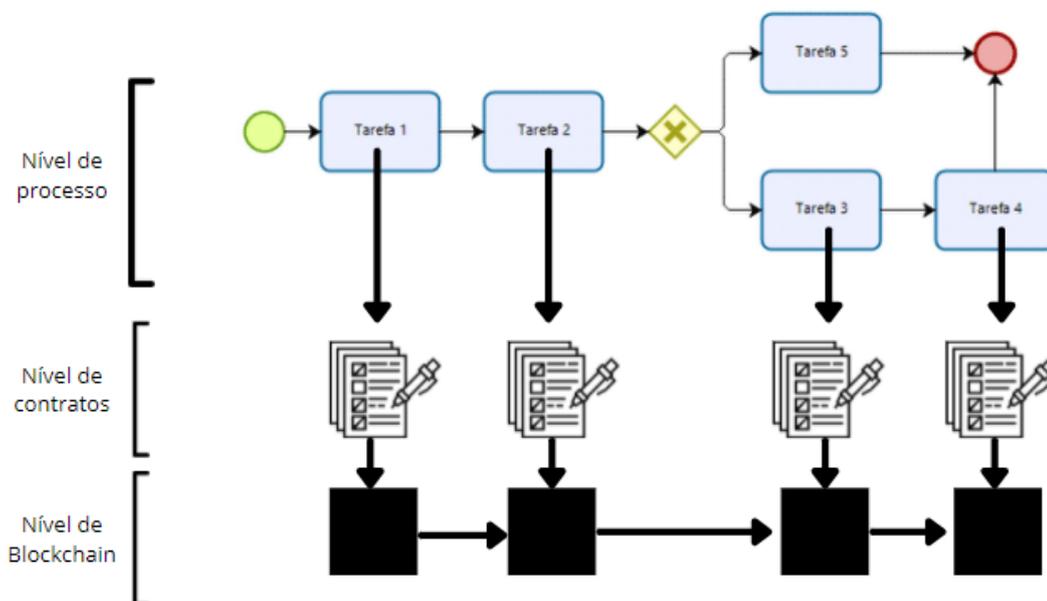
Outro é a segurança do código, o código do contrato deve ser escrito com segurança em mente e deve seguir as melhores práticas de desenvolvimento de software. O contrato deve ser resistente a vulnerabilidades comuns, como injeção de SQL, ataques de negação de serviço (DoS) e invasão de *buffer*. É importante também auditoria de segurança, o contrato deve ser auditado por uma empresa de segurança de renome para identificar quaisquer vulnerabilidades ou fraquezas de segurança. A auditoria deve ser conduzida por uma empresa independente para garantir que o contrato seja avaliado de forma objetiva e imparcial (DINH et al., 2019).

e por fim Gerenciamento de riscos, implementar um processo de gerenciamento de riscos para identificar e mitigar possíveis ameaças e vulnerabilidades. Isso envolve a criação de um plano de contingência para lidar com violações de segurança ou outras emergências (DINH et al., 2019).

Ao seguir esses critérios, é possível garantir a segurança e confiabilidade dos Smart Contracts e reduzir o risco de violações de segurança ou outras emergências. É importante observar que, uma vez em vigor, os Smart Contracts são pouco flexíveis em termos de execução, já que eles irão se executar até que seu prazo de validade termine. Por esse motivo, a modelagem e implementação adequadas dos contratos são de suma importância para o processo e o seu redesenho posterior, caso necessário.

Na implementação de um processo que utiliza Blockchain e Smart Contracts, ilustrado na Figura 3.1, as regras de negócios são codificadas em Smart Contracts e executadas na Blockchain, permitindo a validação automática das transações e a aplicação consistente e precisa das regras de negócios. Isso resulta em um processo mais eficiente, transparente e seguro. No entanto, pode haver problemas caso não seja previsto na implementação que o processo pode sofrer alterações em suas tarefas ou nas regras de negócio, tornando-se assim dependentes do processo para o qual foram implementados. Para garantir um nível de eficiência e flexibilidade adequado, é importante adotar metodologias de modelagem e implementação que considerem a possibilidade de mudanças futuras no processo.

Figura 3.1 – Exemplo de processo com Smart Contract e Blockchain.



Fonte: Autoria própria

Implementar Smart Contracts sem previsão de modelagem de contratos de proxy (contratos atualizáveis) pode resultar em vários problemas, incluindo:

I - Smart Contracts são imutáveis, o que significa que uma vez implantados, eles não podem ser alterados. Isso pode ser um problema se houver erros ou bugs no contrato, pois não há como corrigi-los sem criar um novo contrato.

II - Necessidade de atualizações, à medida que as necessidades do negócio mu-

dam, alterações nas regras de negócio do processo, o próprio redesenho do processo, pode ser necessário atualizar o contrato. No entanto, como mencionado anteriormente, Smart Contracts são imutáveis, tornando difícil fazer alterações se não houver previsão de modelagem de contratos de proxy. Sendo um dos desafios mais significativos que pode surgir quando se depara com a necessidade de atualização dos Smart Contracts que executam um processo.

Isso significa que, se houver uma alteração nas regras de negócios do processo ilustrado na Figura 3.2, que exige uma alteração no Smart Contract, será necessário criar um novo Smart Contract para substituir o antigo, caso contrário, o processo será executado de forma errada.

Esse processo de criação de um novo Smart Contract pode ser demorado e custoso, pois envolve a codificação, teste e implantação de um novo contrato. Além disso, a atualização de um Smart Contract pode afetar outras partes do sistema e exigir a atualização de outros contratos que estão interconectados.

Por fim, é importante notar que a atualização de Smart Contracts pode afetar a confiança e a integridade do sistema de Blockchain, especialmente se os usuários não forem informados sobre as mudanças no contrato. Portanto, é essencial garantir a transparência e a comunicação clara com os usuários do sistema antes e durante o processo de atualização do Smart Contract, informando a mudança na Blockchain.

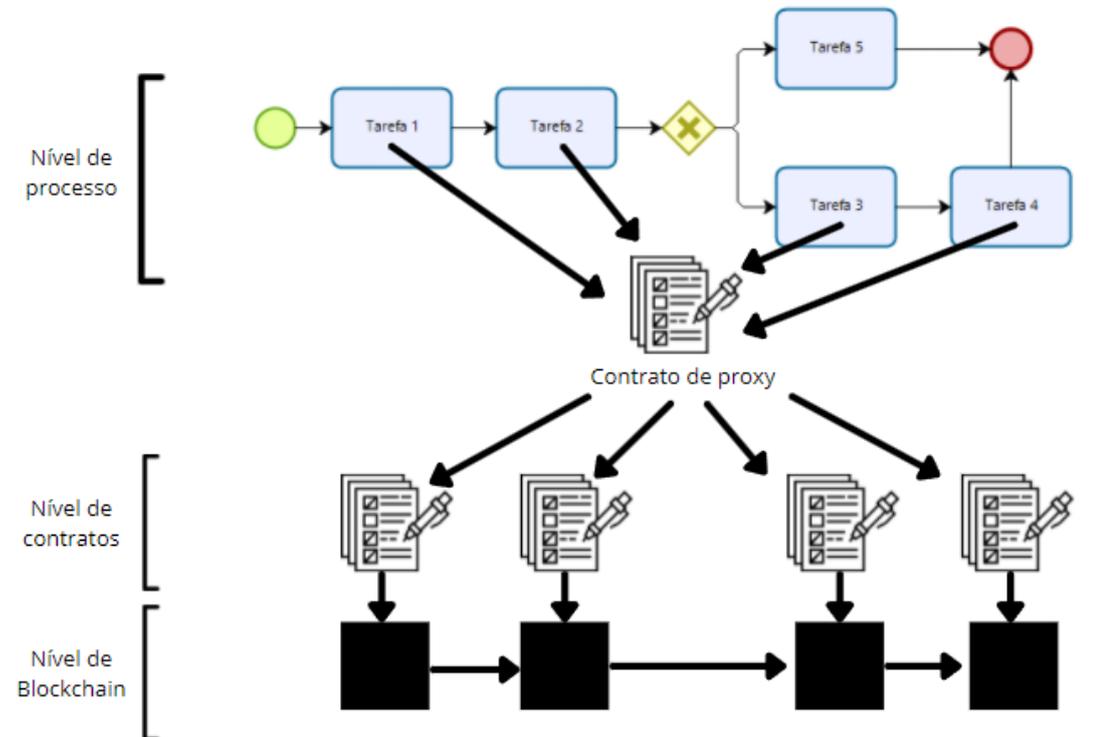
Em resumo, o desafio principal que surge quando se depara com a necessidade de atualização de Smart Contracts é garantir que o novo contrato atenda às regras de negócios atualizadas do processo.

A Figura 3.2, exemplifica a necessidade de atualização dos contratos em decorrer de uma atualização no processo. A tarefa 1 (um), anteriormente à atualização, executava com 2 (dois) parâmetros, por conta disto o contrato implementado vigente recebe os parâmetros enviados pela tarefa 1 (um) e executa as regras necessárias com os parâmetros. Com o tempo este processo sofreu alterações e a tarefa 1 (um) passou a ser executada com 3 (três) parâmetros, mas o seu contrato que executa as regras de negócio da tarefa espera receber apenas 2 (dois) parâmetros, desta forma não condiz mais com a realidade do processo. Para que não ocorra este tipo de problema, é muito importante que na modelagem dos contratos seja previsto a implementação de contratos de proxy, possibilitando essa atualização de forma rápida e eficiente.

Contratos de proxy (ou contratos atualizáveis) são uma técnica de modelagem de Smart Contracts que permite que o contrato seja atualizado sem precisar ser completamente reimplantado na Blockchain. Eles são projetados para contornar a limitação de imutabilidade dos Smart Contracts, permitindo que o contrato seja atualizado em vez de precisar criar um novo contrato do zero.

Os contratos de proxy funcionam por meio de um contrato intermediário que atua como um "proxy" que designa que contrato executar, ou seja, é responsável por encaminhar

Figura 3.3 – Exemplo de processo com Smart Contract e Blockchain com contrato de proxy implementado.



Fonte: Autoria própria

de Blockchain desde o momento inicial e não adicionados posteriormente e de maneira tardia.

3.1.6 Sexta Fase - Integrar a Blockchain no processo

A integração do processo com a Blockchain é a sexta fase da metodologia proposta. Nessa fase, o processo é conectado à Blockchain por meio da integração dos Smart Contracts que definem as regras de negócios e a lógica de execução do processo, que foram modelados e desenvolvidos na fase anterior.

Para integrar o processo com a Blockchain, é necessário identificar os locais no código do sistema que executa o processo, para inserir as chamadas para o contrato de proxy. Desta forma, os Smart Contracts são integrados ao processo, unindo o processo à Blockchain, onde os contratos executarão a lógica do negócio e também irão interagir com outros contratos fazendo com que o processo seja executado.

Para identificar os locais no código do sistema que executam o processo e inserir as chamadas para o contrato de proxy, é preciso realizar uma análise cuidadosa do código fonte do sistema. É necessário identificar as partes do código que executam as transações que serão realizadas na Blockchain e que precisam ser validadas pelos Smart Contracts.

Essas partes do código devem ser adaptadas para chamar o contrato de proxy, que por sua vez executará as transações na Blockchain e verificará a validade das transações de acordo com as regras definidas no Smart Contract.

É importante que essa integração seja feita com cuidado e por profissionais qualificados para garantir que o processo funcione corretamente e que a segurança e a privacidade das informações sejam preservadas.

Uma vez que o Smart Contract é integrado, o processo é configurado para se comunicar com o contrato e usar as informações armazenadas na Blockchain e inserir dados na mesma.

A integração do processo com a Blockchain oferece vários benefícios, como a transparência e imutabilidade dos dados armazenados na Blockchain, que aumenta a confiança e a segurança do processo. Além disso, a automatização do processo por meio do Smart Contract pode reduzir os custos e aumentar a eficiência (BARKER et al., 2019).

Em resumo, a implementação de sistemas de Blockchain e Smart Contracts é uma abordagem que tem ganhado destaque nos últimos anos por suas vantagens em termos de eficiência, transparência e segurança. Para alcançar o máximo de benefícios dessa abordagem, é importante seguir uma metodologia consistente, que começa pela identificação de processos adequados para a implementação.

Uma vez que o processo adequado é identificado, a próxima etapa é a modelagem e codificação do Smart Contract, onde as regras de negócio são definidas e a lógica do contrato é implementada. É essencial que esses contratos sejam projetados com flexibilidade, permitindo a atualização e adaptação de forma segura e confiável.

Ao integrar o processo com a Blockchain, é necessário identificar os locais no código do sistema que executa o processo, para inserir as chamadas para o contrato de proxy. Desta forma, os Smart Contracts são integrados ao processo, unindo o processo à Blockchain, onde os contratos executarão a lógica do negócio e também irão interagir com outros contratos fazendo com que o processo seja executado.

A implementação de sistemas de Blockchain e Smart Contracts é uma abordagem complexa que exige um planejamento cuidadoso e a aderência a uma metodologia consistente. Ao seguir essas etapas de forma cuidadosa, é possível obter ao final uma Blockchain integrada a um processos de negócio.

Durante a criação da metodologia proposta, foram identificados vários trabalhos que utilizam a tecnologia Blockchain em processos ou aplicações que não se limitam ao contexto de criptomoedas. A utilização de Blockchain em diferentes contextos mostra o potencial da tecnologia em aumentar a transparência, segurança e eficiência em várias áreas. Com o objetivo de avaliar a metodologia proposta em relação aos trabalhos relacionados, criamos critérios de comparação que serão apresentados a seguir juntamente com uma breve explicação sobre cada um dos trabalhos selecionados.

4 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção são apresentados os trabalhos relacionados a essa pesquisa. A tecnologia Blockchain é frequentemente relacionada a serviços financeiros e a implementação de criptomoedas como Bitcoin, entretanto grupos de pesquisa e empresas privadas estão aplicando essa tecnologia em diferentes áreas. Este crescente interesse pela tecnologia levou à publicação de diversas pesquisas científicas sobre o assunto, porém, não foi possível encontrar pesquisas diretamente relacionadas ao redesenho de processos em sistemas baseados em Blockchain.

A tabela ilustrada na Figura 4.1 apresenta as análises realizadas sobre o conteúdo dos artigos relacionados a esta pesquisa. Os critérios são apresentados a seguir:

- **Aplicação de Blockchain Além de Criptomoeda:** Refere-se a análise dos trabalhos com aplicação em áreas diferentes à criptomoedas.
- **Utilização de Smart Contracts:** Analisa se o trabalho utiliza ou menciona a utilização de contratos para execução de algum serviço ou regra de negócio, ou até mesmo para automatizar tarefas;
- **Flexibilidade dos Contratos:** Refere-se se o artigo menciona Smart Contracts, se a pesquisa leva em conta que o contrato deve ser flexível a mudanças/evolução do processo, ou seja, se prevê alguma técnica de flexibilidade caso o processo mude;
- **Metodologia para evolução e adaptação de Smart Contracts e Blockchains:** Este critério refere-se se o trabalho em questão menciona problemas que podem existir ao implementar Blockchains em processos, verificando se aborda a evolução e adaptação de Smart Contracts e Blockchains, considerando diferentes tipos de processos de negócio, criando etapas a serem seguidas.

Neste contexto, foram identificamos os seguintes trabalhos como os que mais se aproximaram da pesquisa apresentada nesta dissertação, são eles:

- (TANDON et al., 2020): Para entender o alcance da tecnologia Blockchain na área da saúde e apontar tendências para futuras pesquisas na área, (TANDON et al., 2020) realizou uma revisão sistemática de um sistema Blockchain aplicado à saúde;
- (TAYLOR et al., 2020): Apresenta uma revisão sistemática da literatura na qual foi apresentado o uso da tecnologia Blockchain para fins de segurança cibernética e quais aplicações de segurança Blockchain são mais adotadas;
- (HU et al., 2021): Apresenta uma revisão sistemática da literatura a fim de mostrar noções promissoras de Smart Contracts de última geração, classificando-os em ca-

Figura 4.1 – Tabela de critérios para selecionar os trabalhos relacionados.

Referencia	Aplicação de Blockchain Além de Criptomoeda	Utilização de Smart Contracts	Flexibilidade dos contratos	Metodologia para evolução e adaptação de Smart Contracts e Blockchains
Schinle et al., 2020	✓	X	X	X
Di Ciccio et al., 2020	✓	X	X	X
López Pintado et al., 2020	✓	✓	✓	X
HU et al., 2021	✓	✓	X	X
TANDON et al., 2020	✓	✓	X	X
TAYLOR et al., 2020	✓	X	X	X
Alves et al., 2020	✓	✓	X	X
MISB (Este trabalho)	✓	✓	✓	✓

Fonte: Autoria própria

tegorias e demonstrando algumas vulnerabilidades como vazamentos de privacidade que restringem a aplicação de Smart Contracts;

- (PINTADO et al., 2020): Trabalho relacionado com a flexibilidade da modelagem de processo aplicada a Blockchain e Smart Contracts. Foi o único trabalho encontrado que menciona a flexibilidade que deve ter nessas implementações;
- (SCHINLE et al., 2020b): Apresenta uma integração, execução e monitoramento de processo de negócios modelados com base no Hyperledger. Para a utilização desses dados posteriormente visando a melhoria e melhor performance do processo;
- (CICCIO; MERONI; PLEBANI, 2020): Apresenta uma análise dos benefícios e também dos obstáculos do monitoramento de processos de negócio para Blockchain. Sempre que Blockchains são aplicadas a algum contexto exige um complexo entendimento da tecnologia e seus agregados;

5 ESTUDO DE CASO

A metodologia proposta nesse trabalho foi avaliada através da aplicação em uma Blockchain existente na Plataforma de Defesa Sanitária Animal do Estado do Rio Grande do Sul (PDSA-RS, 2023), mais especificamente no processo de certificação de granjas avícolas de reprodução. Este processo é essencial para garantir a sanidade avícola e prevenir doenças que podem afetar a saúde humana e a economia do país. Assim, a aplicação da metodologia em um caso real de certificação de granjas avícolas de reprodução forneceu insights valiosos sobre como a tecnologia Blockchain pode ser aplicada no processo do setor agropecuário.

Ao final do estudo de caso, espera-se ter uma análise crítica da metodologia no processo de certificação de granjas avícolas de reprodução.

5.1 DEFINIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A saúde das aves é uma preocupação de alta prioridade estratégica para as empresas avícolas. As doenças são um risco potencial para a produção pecuária em qualquer país. A falta de controle sanitário nas granjas pode trazer consequências como:

- I- Redução da produtividade dos lotes;
- II- Abate total de aves;
- III- Interdição das granjas aumentando o custo de produção, perda de mercado, entre outras;

No Brasil, o Programa Nacional de Sanidade Avícola (BRASIL, 2021) destaca que os principais objetivos do programa são:

- I- Prevenir e controlar doenças de interesse da avicultura e saúde pública;
- II- Definir ações que viabilizem a certificação sanitária de o estoque nacional de aves;
- III- Incentivar o desenvolvimento de produtos avícolas saudáveis para o mercado interno e externo;

Estabelecer medidas de prevenção, controle e vigilância das principais doenças avícolas que impactam a saúde pública e animal, que são:

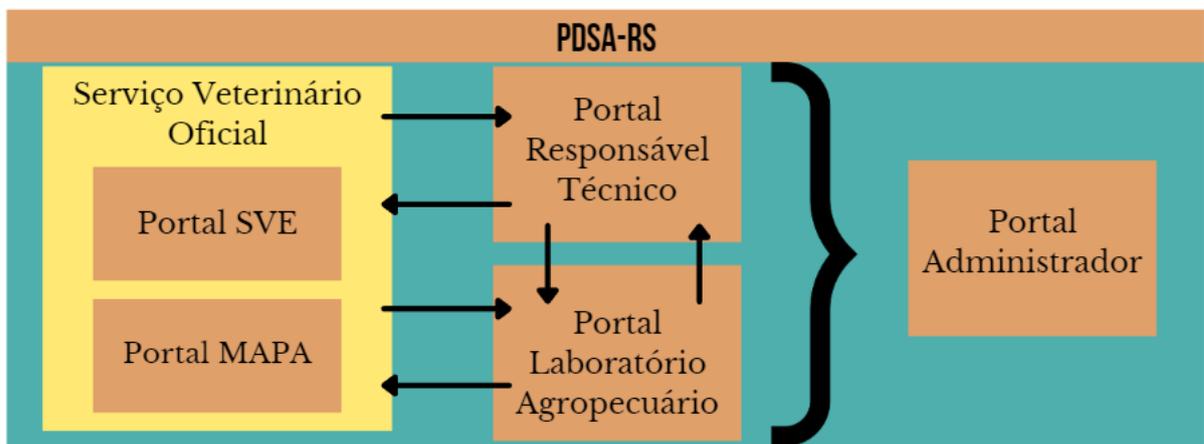
- I- Gripe aviária;
- II- Doença de Newcastle;
- III- Salmonelose (Gallinarum, Pullorum, Enteritidis e Typhimurium);
- IV- Micoplasmose (Gallisepticum, Synoviae e Meleagridis (perus));

A Plataforma de Defesa Sanitária Animal do Rio Grande do Sul (PDSA-RS) visa fornecer melhor informação e gerenciamento de processos e automação para o processo

de controle sanitário dos animais existente. Integra agentes de diferentes áreas, a integração entre os setores existentes caracteriza um modelo de gestão público-privado que traz melhorias para a vigilância epidemiológica.

A arquitetura da PDSA-RS é composta por portais, os quais são acessados pelos principais atores existentes na área de sanidade animal, cada portal composto por módulos que implementam funcionalidades (tarefas) do processo ao qual aquele módulo foi implementado. Os portais são: (a) Portal do Serviço Veterinário do Estado do Rio Grande do Sul (SVE), (b) Portal do Responsável Técnico (RTs), (c) Portal do Laboratório Agropecuário (Laboratório) (d) Portal do Ministério da Agricultura (MAPA) (e) Portal da Administração (Admin);

Figura 5.1 – Relação entre os portais PDSA-RS.



Fonte: Autoria própria

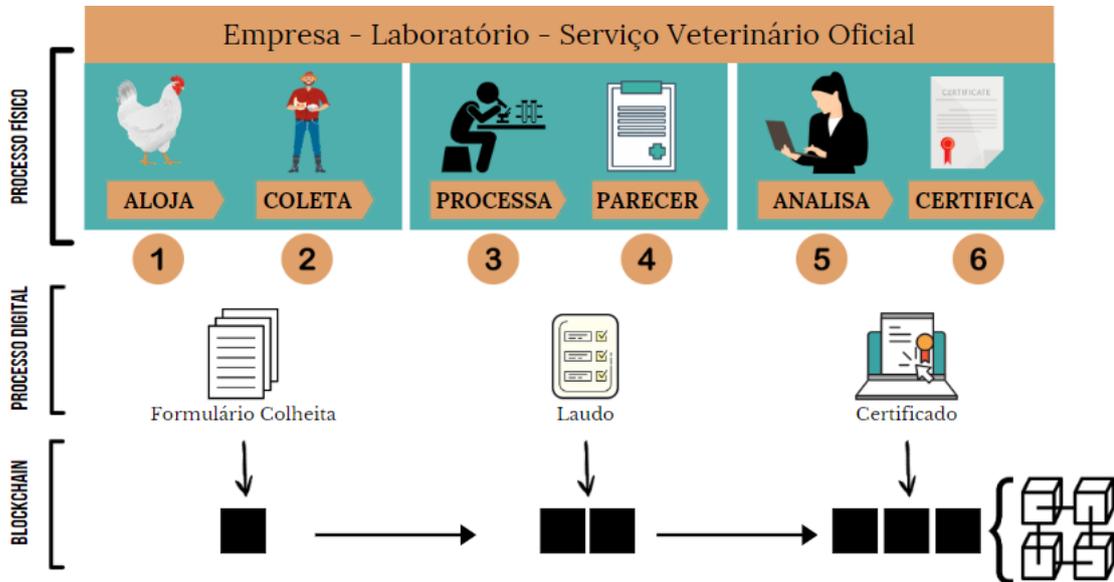
A Figura 5.1 ilustra como os portais se relacionam, existem fluxo e troca de informações entre eles, centralizando todas as informações geradas.

5.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NO ESTUDO DE CASO

A utilização da plataforma PDSA-RS nos processos de certificação de estabelecimentos avícolas traz inúmeros benefícios, como a centralização das informações e a simplificação dos processos. No entanto, a manutenção de um histórico do estado sanitário dos estabelecimentos avícolas é uma preocupação constante, uma vez que as informações são essenciais para garantir a segurança alimentar e a saúde das aves. Nesse contexto, a tecnologia Blockchain surge como uma solução promissora para manter um registro confiável e imutável das informações de certificação. Com a utilização da Blockchain, a plataforma PDSA-RS poderá fornecer um histórico completo e transparente do estado sanitário dos estabelecimentos avícolas, melhorando ainda mais o processo de certificação.

Além disso, a utilização da tecnologia Blockchain também aumenta a segurança e a confidencialidade das informações, garantindo a privacidade dos dados dos estabelecimentos avícolas e a integridade do processo de certificação.

Figura 5.2 – Processo idealizado integrando uma Blockchain ao PDSA-RS.



Fonte: Autoria própria

A Figura 5.2 ilustra o processo idealizado de como uma Blockchain encaixaria no processo de certificação de granjas avícolas de reprodução do estado do Rio Grande do Sul, demonstrando o processo físico, o processo digital executado pelo PDSA-RS e por fim as informações sendo inseridas na Blockchain.

Sabe-se que é possível implementar regras de negócio em Blockchains com os Smart Contracts, mas é necessário ter muito cuidado pois, como as Blockchains, eles também são imutáveis e serão executados até seu prazo de validade. Desta maneira quando regras de negócio forem alteradas, e serão pelo ciclo de vida do processo que visa estar sempre em evolução para o melhoramento do processo, os Smart Contracts implementados estarão defasados mas ainda em vigor.

Com base na necessidade de uma tecnologia que possa garantir a integridade e a confiabilidade dos dados gerados em processo de negócio, foi desenvolvida uma metodologia que tem como objetivo auxiliar a implementação de sistemas de Blockchain nesse contexto. Essa metodologia consiste em diversas fases, começando pela avaliação da necessidade real da implementação da Blockchain no processo.

Ao avaliar a necessidade da implementação da Blockchain, é importante levar em consideração que as regras de negócio do processo podem mudar ao longo do tempo. Nesse sentido, é preciso encontrar uma solução para a gestão dos Smart Contracts, já que eles são programados com as regras de negócio vigentes no momento da implementação. Caso as regras mudem, os Smart Contracts podem ficar desatualizados e isso pode

comprometer todo o processo.

Para resolver esse problema, a metodologia propõe uma análise detalhada das regras de negócio e a criação de uma camada de abstração para gerenciamento dos Smart Contracts, permitindo que as regras possam ser alteradas sem transtornos. Dessa forma, é possível manter a confiabilidade dos dados e a integridade do histórico do processo, mesmo diante de mudanças nas regras de negócio do processo.

5.2.1 Aplicando a segunda Fase - Conhecer o processo

Para um entendimento mais aprofundado do processo de certificação de granjas avícolas de reprodução do estado do Rio Grande do Sul, é essencial realizar a modelagem do processo utilizando a linguagem BPMN. Essa abordagem permite a visualização do processo de forma gráfica por meio de um fluxograma, sendo que a primeira modelagem é denominada de "AS-IS".

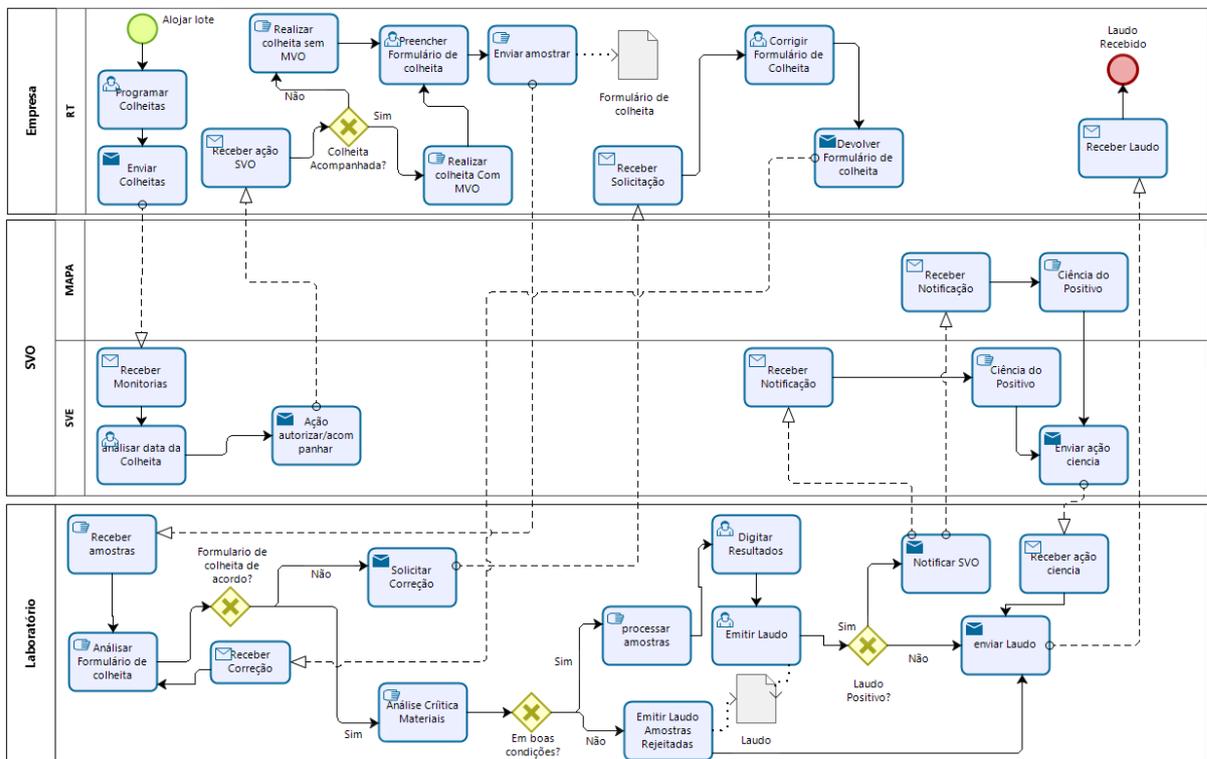
Nessa etapa, o processo é mapeado de forma detalhada, levando em consideração sua complexidade e particularidades. Para esse fim, o processo de certificação foi dividido em duas partes para facilitar a modelagem e a análise. Dessa forma, é possível compreender claramente como o processo ocorre, identificando pontos críticos e oportunidades de melhoria.

Primeira: A primeira parte do processo mapeado em BPMN é ilustrada na Figura 5.3. Esta figura representa o processo de emissão de laudo do estado sanitário de um lote de aves em um determinado período de tempo. O processo é composto por diversas etapas, que incluem a coleta de amostras de aves, a análise laboratorial das amostras, a avaliação dos resultados e a emissão do laudo. Como pode ser observado na figura, o processo envolve a interação de diversos atores, como o produtor, o responsável técnico e o laboratório agropecuário, além da troca de informações entre os diferentes portais da plataforma PDSA-RS.

Segunda: A segunda parte do processo, apresentada na Figura 5.4, consiste na análise dos dados gerados na primeira etapa e na emissão de um certificado sanitário das aves de uma determinada granja. Nessa fase, todas as informações coletadas anteriormente são reunidas e submetidas a uma avaliação mais criteriosa, com o objetivo de garantir que as aves atendam aos requisitos de sanidade exigidos. Com base nessa análise, é emitido um certificado sanitário que permitirá a continuidade da criação das aves ou, caso necessário, tomar as providências cabíveis de acordo com os resultados obtidos.

O processo de certificação de granjas avícolas no estado do Rio Grande do Sul, como descrito anteriormente, envolve diversas entidades e apresenta um alto grau de complexidade. Além disso, o processo é moroso e requer confiança nas informações geradas e nas tramitações entre as diferentes entidades envolvidas. Uma solução viável para resol-

Figura 5.3 – Primeira Parte do processo de certificação de granjas avícolas de reprodução do estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Autoria própria

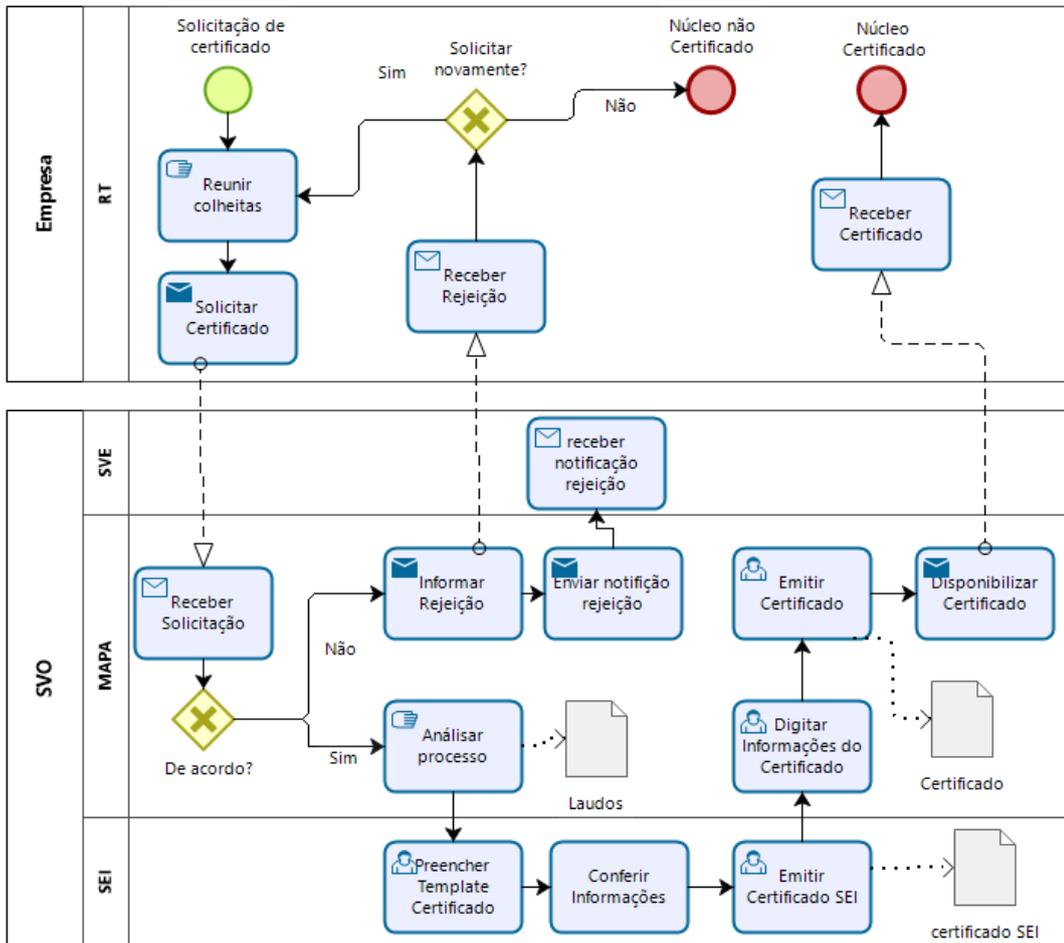
ver esses problemas é a implementação de uma Blockchain no processo, garantindo assim a confiança e imutabilidade dos dados, bem como agilidade nas tramitações e redução de custos. A utilização da tecnologia Blockchain permitirá que todas as partes envolvidas no processo tenham acesso ao mesmo conjunto de informações, garantindo a transparência e a confiança mútua. Isso se deve ao fato de que a tecnologia Blockchain proporciona um registro distribuído e imutável de todas as transações e informações do processo.

Durante a implementação de um processo, é comum que ocorram mudanças, incluindo adição de tarefas ou alterações nas regras de negócio, que podem impactar a modelagem "AS-IS". Essas mudanças são conhecidas como redesenho do processo. Para ter um processo bem estruturado, é importante realizar o redesenho do processo para adequar as mudanças, utilizando a modelagem em BPMN.

Por exemplo, suponha que durante a implementação do processo de certificação sanitária das aves, ilustrado na Figura 5.4, tenha ocorrido alterações nas regras de negócio para a emissão do certificado. Nesse caso, é preciso modificar a modelagem em BPMN para adequar as mudanças, permitindo que o processo continue sendo executado de forma eficiente e com as novas regras de negócio incorporadas.

Na segunda etapa do processo, todas as informações necessárias para a emissão de um certificado sanitário são consolidadas. As informações anteriores são de responsa-

Figura 5.4 – Segunda Parte do processo de certificação de granjas avícolas de reprodução do estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Autoria própria

bilidade dos laboratórios e responsáveis técnicos das empresas solicitantes. Portanto, é importante que as informações fornecidas na solicitação sejam verdadeiras e não fraudulentas. Por essa razão, a tecnologia Blockchain pode ser adicionada apenas na segunda parte do processo, como mencionado anteriormente. Após a conclusão do mapeamento do processo, é possível prosseguir para a próxima fase da metodologia, que envolve a análise do processo e a modelagem do objeto de transação entre a Blockchain e o processo, identificando onde essas interações ocorrerão.

5.2.2 Aplicando a terceira fase - Desenvolver o objeto de transações

O desenvolvimento de um objeto que será utilizado nas transações é feito nesta fase da metodologia. Até o momento possui-se o processo mapeado, desta maneira identificar as informações que serão inseridas na Blockchain é facilitado, porque ao mapear

o processo, já é possível identificar as informações que são críticas e necessárias para a validação e integridade do processo como um todo. Com essa informação em mãos, é possível desenvolver um objeto que contemple essas informações e que possa ser utilizado nas transações da Blockchain, garantindo assim a confiabilidade e a imutabilidade dos dados envolvidos. Isso torna o processo de desenvolvimento do objeto mais direcionado e eficiente.

Como mencionado na etapa anterior será utilizado o segundo processo ilustrado na Figura 5.4, esta parte do processo reúne todas as informações necessárias para obter um certificado sanitário do estado das aves.

No processo existe um número único chamado Termo de colheita para cada colheita realizada, o termo é um identificador único, sendo relevante para o processo, por isso ele é o primeiro atributo no objeto das transações. É preciso saber também que tarefa está sendo realizada no momento para que o contrato de proxy, que será implementado em fases posteriores, saiba qual contrato ele deve chamar, sendo assim o segundo atributo do objeto. Também é necessário saber a data e hora em que a transação foi executada, sendo o terceiro atributo do objeto. E por fim um atributo *Json*, pois em cada tarefa do processo, classes e objetos distintos são utilizados, desta maneira sendo possível salvar nas transações o objeto todo em formato *Json*. Desta maneira, a montagem reversa do objeto das transações é facilitada, já que sabe-se a etapa em que a transação ocorreu no processo, montando assim o objeto certo incluído no atributo *Json*.

Portanto o objeto de transações está definido, a Figura 5.5 ilustra o objeto criado na linguagem JAVA. Nota-se que as interações do processo com a Blockchain foram definidas no objeto pelo enum *Task*. Com o objeto definido, avançar para a próxima fase da metodologia é possível.

5.2.3 Aplicando a quarta fase - Escolher a plataforma de Blockchain que mais se adéqua a sua necessidade

Atualmente, a criação de uma rede de Blockchain escalável com as tecnologias existentes não é uma tarefa simples. Existem muitas plataformas e ferramentas de desenvolvimento voltadas à criação de aplicações de Blockchain que facilitam a implementação e gerenciamento da Blockchain, poupando tempo e dinheiro no desenvolvimento. Algumas empresas fornecem essas plataformas de forma gratuita, já para outras é necessário contratar o serviço. Na seção anterior foi citado algumas plataformas mais populares, são elas:

Hyperledger Fabric: O Hyperledger foi lançado em 2016. É uma comunidade de código aberto focado no desenvolvimento de um conjunto de estruturas e bibliotecas para a implementação de Blockchains a nível empresarial (FOUNDATION, 2023).

Figura 5.5 – Objeto das transações definido para o estudo de caso.

```
public class Transacoes {  
  
    private String termoColheita;  
    private Task tarefaProcesso;  
    private LocalDateTime dataHora;  
    private Json Objeto;  
  
    public enum Task {  
        SOLICITAR_CERTIFICADO,  
        INFORMAR_REJEITACAO,  
        ANALISAR_PROCESSO,  
        EMITIR_CERTIFICADO,  
        DISPONIBILIZAR_CERTIFICADO  
    }  
}
```

Fonte: Autoria própria

Oracle Blockchain Platform: É um conjunto de ferramentas que auxilia no desenvolvimento, teste, depuração e implantação de Smart Contracts em redes Oracle Blockchain Platform. Possuem também o *Blockchain App Builder extension for Visual Studio Code* no qual é uma extensão de *Blockchain builder* que ajuda a criar e estruturar um projeto Blockchain totalmente funcional a partir de um arquivo de especificação. Após a criação do projeto, você pode executá-lo e testá-lo em uma rede local do Hyperledger Fabric ou em sua rede provisionada do Oracle Blockchain Platform. Você pode então executar consultas ricas em SQL, depurar os contratos ou escrever e executar testes de unidade usando o código gerado (ORACLE, 2023).

IBM Blockchain Platform: Esta plataforma é uma versão comercial do Hyperledger Fabric estruturado pela IBM. Ele fornece uma oferta de Blockchain como serviço (BaaS) de pilha completa gerenciada entregue em um ambiente de sua escolha, incluindo o IBM Cloud, on-premises e nuvens de terceiros. Permite criar uma rede Blockchain com apenas alguns cliques e fornece uma interface fácil de usar para gerenciar redes, canais e contratos inteligentes. Aproveitando o Hyperledger Fabric, o IBM Blockchain Platform permite um novo tipo de rede de negócios distribuída baseada nos princípios de finalidade, confiança e privacidade (IBM, 2023).

Amazon Managed Blockchain: Serviço totalmente gerenciado afim de facilitar o

ingresso e o gerenciamento de redes de Blockchains utilizando as plataformas Hyperledger Fabric e Ethereum. Ela Permite provisionar a infraestrutura de Blockchain com apenas alguns cliques. As empresas que desejam criar uma rede privada de Blockchain podem criar uma Blockchain Hyperledger Fabric no Amazon Managed Blockchain em poucos minutos e convidar as organizações parceiras para a rede via sua ID de conta da AWS. E com o uso de nós de Ethereum é possível a criação de um Marketplace de NFT ou análises de dados do Blockchain de Ethereum com seu próprio nó dedicado como a principal interface Blockchain (AMAZON, 2023).

Após conhecer algumas das plataformas existentes, a pesquisa optou por desenvolver sua própria Blockchain com o intuito de (a) obter um entendimento mais profundo da tecnologia, ao desenvolver uma Blockchain própria, os pesquisadores podem ter uma compreensão mais completa do funcionamento interno da tecnologia e das decisões de projeto que afetam sua escalabilidade, segurança e eficiência, (b) personalização do protocolo, a criação de uma Blockchain própria permite que os pesquisadores personalizem o protocolo e as regras de consenso para atender às necessidades específicas do projeto de pesquisa, (c) controle sobre o ambiente de desenvolvimento, ao desenvolver sua própria Blockchain, os pesquisadores têm controle total sobre o ambiente de desenvolvimento, o que pode facilitar o processo de pesquisa e testes, (d) contribuir para o avanço da tecnologia: Ao desenvolver uma Blockchain própria, os pesquisadores podem contribuir para o avanço da tecnologia Blockchain, descobrindo novas abordagens e soluções para problemas existentes.

Realizar a escolha das tecnologias para a implementação de uma solução tecnológica é uma etapa importante e delicada, pois a escolha inadequada pode acarretar em problemas e dificuldades durante o desenvolvimento e manutenção do sistema. Para tomar uma decisão cientificamente fundamentada, é necessário realizar uma análise criteriosa das opções disponíveis, considerando fatores como a qualidade da documentação, a maturidade da tecnologia, a facilidade de uso, o suporte e a comunidade envolvida, entre outros.

No caso deste estudo, o pesquisador optou por desenvolver sua própria Blockchain para estudar e compreender o funcionamento e comportamento da tecnologia. A escolha das tecnologias utilizadas na implementação da solução foi realizada de acordo com o conhecimento e habilidades técnicas do pesquisador ilustradas na Figura 5.6, bem como considerando os requisitos funcionais e não-funcionais do sistema a ser desenvolvido. A decisão, portanto, foi tomada com base em critérios científicos e técnicos, visando obter os melhores resultados para a pesquisa em questão.

A escolha das tecnologias para a implementação da plataforma de Blockchain do trabalho foi baseada em critérios técnicos e de conhecimento prévio do pesquisador, a fim de garantir a eficiência e facilidade de manutenção do sistema.

A linguagem Python foi escolhida para implementar a Blockchain e seu algoritmo de

Figura 5.6 – Tecnologias utilizadas para o desenvolvimento da plataforma de Blockchain.

Tecnologia	Versão	Utilização
Python	3.8	Linguagem programação Blockchain
RabbitMQ	3	Para comunicação
Plyvel (leveldb)	1.3	Banco para gerenciar os dados dos blocos
Docker	18^	Unir as tecnologias e rodá-las
PostgreSQL	9.6	Sistema de LOG
JAVA	17	Linguagem de programação Smart Contracts

Fonte: Autoria própria

consenso, devido à sua simplicidade e facilidade de manutenção. Além disso, a tecnologia Plyvel (leveldb) foi utilizada para armazenar os blocos e informações da Blockchain, por ser amplamente usada em conjunto com a linguagem Python.

RabbitMQ foi escolhido para a comunicação entre os contratos e a Blockchain via mensageria, devido à sua fácil implementação e configuração em diferentes tecnologias e por facilitar a implementação de tolerância a falhas entre as comunicações.

A linguagem JAVA foi escolhida para implementar os Smart Contracts, por ser robusta, estar no mercado há anos e por ser a linguagem de escolha do pesquisador. Além disso, as APIs do PDSA-RS também são em JAVA, o que facilitou a comunicação entre eles.

Para evitar consultas repetidas na Blockchain a cada vez que um usuário precisar buscar dados, foi utilizado o PostgreSQL para criar um sistema de LOG que funciona em conjunto com a Blockchain, unindo o poder da Blockchain e dos Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBDs).

Por fim, a tecnologia Docker foi escolhida para criar um ambiente padronizado e isolado para a execução da plataforma de Blockchain e suas tecnologias, seguindo uma metodologia comum em várias empresas. Com isso, foi possível avançar para a próxima fase da metodologia, que consiste em modelar e implementar os Smart Contracts de forma mais segura e eficiente.

5.2.4 Aplicando a quinta fase - Modelar Smart Contracts

A modelagem e implementação dos Smart Contracts é importância na implementação de Blockchains em diferentes contextos, inclusive fora do âmbito das criptomoedas. Nesta fase da metodologia, são modelados e implementados os contratos necessários para que o processo de certificação de granjas avícolas de reprodução do estado do Rio Grande do Sul possa funcionar adequadamente com a Blockchain. Para isso, é necessário implementar os contratos que executam as tarefas do processo, começando pelo contrato responsável por salvar as transações das solicitações de certificado.

Os Smart Contracts são imutáveis, assim como as Blockchains. Portanto, para que um contrato siga uma estrutura e não possa ser alterado, foi criada uma interface para o contrato implementar. Essa interface garante que o contrato responsável por executar as tarefas das solicitações de certificado mantenha uma estrutura consistente. A Figura 5.7 ilustra essa interface.

Figura 5.7 – Interface do contrato.

```
public interface ContratoSolicitarCertificadoV1 {
    //TODO: Estrutura que o contrato que implementar essa interface deve seguir
    public void receberSolicitacaoCertificacao(Transacoes transacao);
}
```

Fonte: Autoria própria

Assim, para que o contrato responsável por solicitar a certificação possa manter uma estrutura e seguir a interface estabelecida, é necessário que ele seja implementado de acordo com essa interface. A Figura 5.8 ilustra como o contrato é implementado.

Nota-se que o contrato implementa a interface pela extensão implements, por conta disto é obrigatório desenvolver os métodos que a interface possui, neste caso o método é receberSolicitacaoCertificacao(). O contrato executa uma serie de regras de negócio para validar as informações enviadas para a certificação, como por exemplo, a verificação se o termo de colheita enviado na transação é referente as informações contidas no objeto da transação, dados buscados no oráculo PDSA-RS e verificados no contrato, caso todos os dados corresponderem, o contrato envia as transações via mensageria utilizando a tecnologia RabbitMQ. O contrato antes de executar todas essas regras verifica se o contrato ainda está vigente, caso sim, ele executa a tarefa.

Após a implementação dos contratos que executam as tarefas ainda é necessário a implementação dos contratos de proxy, para possibilitar a flexibilidade e a atualização dos contratos, pois se as tarefas chamarem diretamente o contrato que executa a tarefa, não será possível que o processo venha a ter alterações nas suas tarefas, ou seja, mudanças

Figura 5.8 – Implementação do contrato de solicitar certificação.

```
public class ContratoSolicitarCertificado implements ContratoSolicitarCertificadoV1 {

    private static final Logger log = LoggerFactory.getLogger(Transacoes.class);
    private static final RabbitTemplate insert_log_blockchain = BeanUtil.getBean(RabbitTemplate.class);
    private final LocalDate dataVencimento = LocalDate.of( year: 2023, month: 12, dayOfMonth: 25);

    @Override
    public final void receberSolicitacaoCertificacao(final Transacoes transacao) {

        if(LocalDate.now().isBefore(dataVencimento) || LocalDate.now().isEqual(dataVencimento)){
            try{
                //TODO: Aqui inserimos uma serie de regras de negocio para verificar as informações
                //TODO: que estão sendo enviadas para a Blockchain
                if(this.verificarDados(transacao)){
                    insert_log_blockchain.convertAndSend( routingKey: "pdsa-rs.save_transacoes", transacao);
                    log.info("{} Transação enviada ", transacao);
                }else {
                    log.info("{} Informações incorretas na transação", transacao);
                    throw new Exception("Informações não correspondentes");
                }

            }catch (Exception ex){
                ex.printStackTrace();
            }
        }else{
            log.info("CONTRATO VENCIDO RECEBER SOLICITACAO CERTIFICACAO");
        }
    }
}
```

Fonte: Autoria própria

de regras de negócio não serão possíveis.

Figura 5.9 – Implementação do contrato de proxy.

```
public class ContratoProxy implements ContratoProxyV1{

    @Override
    public void executarContrato(Transacoes transacao) {

        switch (transacao.getTarefaProcesso().name()){
            case "SOLICITAR_CERTIFICADO": new ContratoSolicitarCertificado().receberSolicitacaoCertificacao(transacao);
            case "DEFAULT": return;
        }
    }
}
```

Fonte: Autoria própria

Os contratos de proxy são simples, ele é uma espécie de chamador de contratos que devem ser executados naquele momento, por exemplo, ao solicitar a chamada da tarefa X, é enviado para o contrato de proxy que a tarefa X deve ser executada, então o proxy delega para o contrato correto, a Figura 5.9 ilustra como um contrato de proxy pode

ser implementado para delegar o contrato da tarefa de solicitar certificação. O contrato recebe o objeto de transações que possui um atributo que identifica a tarefa que foi executada para gerar a transação, desta maneira existem condições dentro do contrato de proxy que identificam esse atributo e designam para qual contrato deve ser executado. Portanto, caso alguma regra de negócio venha a ser modificada, apenas é necessário implementar outro contrato que herda a estrutura do antigo, ajustando o que for necessário, além de ser preciso modificar o contrato de proxy para chamar o novo contrato. Após a finalização das implementações dos contratos necessários, a próxima fase da metodologia pode ser aplicada.

5.2.5 Aplicando a sexta fase - Integrar a Blockchain no processo

Nesta fase deve-se, quando possível, reutilizar aplicações de Blockchain já existentes. A tecnologia Blockchain ainda é relativamente nova e muitos times de desenvolvimentos podem se sentir inseguros em tentar aplicá-la. Portanto, para um início é interessante clonar uma aplicação existente e implementá-la para o seu domínio, desta forma facilita o entendimento da tecnologia, para que no futuro seja possível implementar sua própria plataforma.

Neste contexto, foi implementado a própria Blockchain na linguagem Python, e para a comunicação da Blockchain com os contratos a tecnologia de mensageria foi utilizada, facilitando assim a comunicação entre as diferentes tecnologias.

Figura 5.10 – Integrando o processo com a Blockchain

```
public boolean solicitarCertificacao(SolicitacaoCertificado solicitacao, List<MultipartFile> files) throws Exception {

    boolean haSolicitacaoPendente = verificaSeHaSolicitacaoPendente(solicitacao.getGranja().getUuid());
    if (haSolicitacaoPendente) {
        throw new Exception("Já existe uma solicitação pendente para esta granja");
    } else {

        //TODO: Criar objeto de transação e enviar para o contrato de proxy
        //TODO: Desta maneira conseguimos integrar os contratos com o processo
        //TODO: E portanto ligando o processo a Blockchain
        contratoProxy.executarContrato(buildTransactionBlockchain(solicitacao));
        //TODO: se chegar até esta etapa sem exceções, é porque o contrato executou corretamente
        |
        //TODO: salva no LOG
        SolicitacaoCertificado s = dao.solicitarCertificacao(solicitacao);

        if (s != null) {
            // tramite: EMP -> MAPA
            Tramitacao tramitacao = new Tramitacao();
            tramitacao.setOrigemPortal("EMP");
            tramitacao.setDestinoPortal("MAPA");
            tramitacao.setOrigem(solicitacao.getGranja().getEmpresa_resp().getId());
            // id mapa
            tramitacao.setDestino(2);
            tramitacao.setRealizante(solicitacao.getAutorSolicitacao());
            tramitacao.setMensagem("Solicitação de " + (solicitacao.getTipoSolicitacao().equals("primeira certificação")? "primeira certificação" :
            dao.tramitarSolicitacaoCertificacao(solicitacao, tramitacao);
            notificaSolicitacao(solicitacao);
        }
    }
}
```

Fonte: Autoria própria

A Figura 5.10 ilustra como a integração dos contratos com o processo é realizada. Une-se o processo aos contratos que irão se comunicar com a Blockchain, executando as regras de negócios para o funcionamento do processo, integrando a tecnologia Blockchain ao processo de certificação de granjas avícolas de reprodução do estado do Rio Grande do Sul.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implementação da tecnologia Blockchain tem se tornado cada vez mais popular, especialmente em setores como de criptomoedas, mas atualmente está sendo utilizada em diversas áreas, por conta da capacidade dos Smart Contracts que possibilitam adicionar regras de negócio à Blockchain.

Implementar Smart Contracts atualizáveis e Blockchains em processos pode ser uma tarefa desafiadora, e pode levar tempo para avaliar se o processo foi bem-sucedido ou não. Seguir uma metodologia cuidadosa é crucial para garantir que todas as etapas necessárias tenham sido abordadas de forma adequada. Com o tempo, é possível avaliar a eficácia da implementação da Blockchain em relação ao processo de certificação de granjas avícolas de reprodução do estado do Rio Grande do Sul e determinar se os resultados atendem às expectativas e objetivos do projeto.

Em geral, a implementação de Blockchains e tecnologias associadas, como os Smart Contracts, envolvem várias etapas que devem ser seguidas rigorosamente. Caso sejam implementadas e modeladas de forma negligente, podem causar problemas significativos para os desenvolvedores.

A metodologia proposta neste trabalho auxilia a implementar e modelar Blockchains e Smart Contracts atualizáveis com eficiência, garantindo que futuras atualizações no processo não afetem de forma irrecuperável os Smart Contracts e, por conta disto, afetem a Blockchain.

6 CONCLUSÃO

O método proposto neste trabalho para modelar e implementar sistemas de Blockchain e Smart Contracts atualizáveis em processos de negócio se mostra uma abordagem sólida e flexível para lidar com a complexidade de alterações nas regras de negócio em sistemas legados que optam por implementar uma Blockchain no processo. Com o tempo e a demonstração de sucesso do processo com a Blockchain, é possível comprovar a efetividade da metodologia e a sua capacidade de se adaptar às necessidades e mudanças do processo de negócio.

Ao dividir a metodologia em seis fases distintas, proporcionou auxiliar que cada etapa seja cuidadosamente planejada e executada antes de passar para a próxima. Auxiliando a minimizar o risco de erros e a maximizar a eficiência do processo como um todo.

No entanto, é preciso destacar que a implementação bem-sucedida de Smart Contracts atualizáveis e Blockchains é um processo complexo que pode demandar conhecimento especializado. Nesse sentido, a metodologia proposta se mostrou eficaz para orientar a equipe de desenvolvimento na modelagem e implementação de sistemas de Blockchain em processos de negócio. Com o tempo, será possível avaliar a efetividade da metodologia e aprimorá-la, caso necessário.

A aplicação da metodologia em um caso real de aplicação, como o processo de certificação de granjas avícolas de reprodução do estado do Rio Grande do Sul, integrado a um sistema legado que executa o processo, permitiu verificar a eficácia da abordagem. Contudo, para comprovar de forma mais ampla a validade da metodologia, seria interessante entregá-la a uma equipe de desenvolvedores para aplicá-la em outros projetos e avaliar sua eficácia em diferentes contextos. Nesse sentido, a metodologia proporcionou a modelagem e implementação de uma Blockchain ao processo existente, incluindo a implementação de contratos atualizáveis (contratos de proxy) para lidar com possíveis alterações nas regras de negócio do processo, o que tornou a atualização dos contratos uma tarefa mais simples.

Portanto, embora a metodologia proposta no trabalho possa ser útil como um guia geral para a implementação e modelagem de sistemas de Blockchain e Smart Contracts atualizáveis, é essencial que cada caso seja avaliado individualmente, já que nem sempre esta tecnologia suprirá as necessidades do processo, podendo uma solução mais simples ser uma melhor escolha. Porém, se após ser analisado que a melhor escolha é implementar a Blockchain, a metodologia proposta neste trabalho auxiliará nessa caminhada de implementação.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

A seguinte lista de itens descreve os possíveis trabalhos futuros a serem desenvolvidos no contexto desta dissertação:

- **Integração com outras tecnologias:** Explorar a integração de Blockchains com outras tecnologias emergentes, como a internet das coisas (IoT), inteligência artificial (IA) e a computação em nuvem, a fim de criar soluções mais abrangentes, como por exemplo, a integração de Blockchains com IA pode ajudar a criar soluções que usam aprendizado de máquina para análise de dados na Blockchain, permitindo a detecção de padrões e insights que seriam difíceis de serem encontrados por outros meios;
- **Desenvolver padrões e protocolos para interoperabilidade entre Blockchains:** Com o aumento do número de Blockchains, um trabalho futuro pode ser desenvolver padrões e protocolos que permitam que dois ou mais sistemas possam interagir e trocar informações entre si sem problemas ou restrições entre diferentes Blockchains, a fim de facilitar a troca de informações e transações entre elas;
- **Avaliação após implementação da metodologia proposta por este trabalho:** pode ser realizada de várias maneiras, dependendo dos objetivos da avaliação e dos indicadores de desempenho a serem medidos. Algumas das possíveis abordagens incluem:
 - I-** **Avaliação de segurança:** é avaliar a segurança da Blockchain e dos Smart Contracts implementados, utilizando técnicas como testes de invasão, análise de código, simulação de ataques, entre outros. Isso pode ajudar a identificar possíveis vulnerabilidades e aprimorar a segurança da implementação.
 - II-** Como não foram encontradas outras metodologias específicas para a implementação de Blockchains e Smart Contracts em processos de negócio, uma possível abordagem seria comparar a metodologia proposta com outras metodologias existentes para implementação de Blockchains em geral. Nessa comparação, poderiam ser avaliados aspectos como desempenho, segurança, usabilidade e impacto, para identificar as diferenças e vantagens da metodologia proposta em relação a outras abordagens mais tradicionais.
 - III-** Avaliar se após modificações nas regras de negócio ou do redesenho do processo, se atualizar os contratos é realmente fácil e eficaz seguindo a metodologia.
 - IV-** Desafios que os os contratos de proxy apresentam como garantir a segurança e transparência das atualizações do contrato e como gerenciar contratos que são atualizados de forma diferente, sem herdar a estrutura do antigo contrato.

Estas são apenas algumas das possíveis abordagens para avaliar uma metodologia de implementação e modelagem de Blockchains e Smart Contracts atualizáveis. A escolha da abordagem dependerá dos objetivos da avaliação a serem medidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AALST W.M.P., t. H. A. van der; WESKE, M. Business process management: a survey. In: **Proceedings of the International Conference on Business Process Management, BPM 2003, Eindhoven, The Netherlands**. [S.l.: s.n.], 2003.

AMAZON. **Amazon Managed Blockchain**. 2023. <<https://aws.amazon.com/pt/managed-blockchain/>>. Acessado: 17/12/2022.

BARKER, J. F. et al. Blockchain as a disruptive technology for business: A systematic review. **International Journal of Information Management**, v. 51, 11 2019.

BRASIL, M. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Programa nacional de sanidade avícola (PNSA)**. 2021. <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/saude-animal/programas-de-saude-animal/sanidade-avicola>>. Acessado: 04/01/2021.

BUTERIN, V. et al. A next-generation smart contract and decentralized application platform. **white paper**, v. 3, n. 37, 2014.

CICCIO, C. D.; MERONI, G.; PLEBANI, P. Business process monitoring on blockchains: Potentials and challenges. In: NURCAN, S. et al. (Ed.). **Enterprise, Business-Process and Information Systems Modeling**. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 36–51. ISBN 978-3-030-49418-6.

CONTI, M.; GANGWAL, A.; TODERO, M. Blockchain trilemma solver algorithm has dilemma over undecidable messages. In: **Proceedings of the 14th International Conference on Availability, Reliability and Security**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019. (ARES '19). ISBN 9781450371643. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3339252.3339255>>.

CROMAN, K. et al. On scaling decentralized blockchains (a position paper). In: . [S.l.: s.n.], 2016.

DINH, T. T. A. et al. **BLOCKBENCH: A Framework for Analyzing Private Blockchains**. 2019.

DUMAS M., L. R. M. M. J. . R. H. A. Fundamentals of business process management. In: . [S.l.: s.n.], 2013.

ETHEREUM. **Solidity Documentation**. 2023. <<https://docs.soliditylang.org/en/v0.8.9/contracts.html#libraries>>. Acessado: 15/03/2023.

FOUNDATION, T. L. **About Hyperledger Foundation**. 2023. <<https://www.hyperledger.org/about>>. Acessado: 17/12/2022.

HAMMER, M. What is business process management? In: _____. **Handbook on Business Process Management 1: Introduction, Methods, and Information Systems**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015. p. 3–16. ISBN 978-3-642-45100-3. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-45100-3_1>.

HU, B. et al. A comprehensive survey on smart contract construction and execution: paradigms, tools, and systems. **Patterns**, v. 2, n. 2, p. 100179, 2021. ISSN 2666-3899. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666389920302439>>.

- IBM. **IBM Blockchain**. 2023. <<https://www.ibm.com/blockchain>>. Acessado: 17/12/2022.
- JOHNSON, D.; MENEZES, A.; VANSTONE, S. The elliptic curve digital signature algorithm (ecdsa). **International journal of information security**, Springer, v. 1, n. 1, p. 36–63, 2001.
- KO R.K.L., L. S.; LEE, E. W. Business process management (bpm) standards: a survey. In: **Business Process Management Journal**. [S.l.: s.n.], 2009. v. 15, n. 5, p. 744–791.
- KOSBA, A. et al. Hawk: The blockchain model of cryptography and privacy-preserving smart contracts. In: IEEE. **2016 IEEE symposium on security and privacy (SP)**. [S.l.], 2016. p. 839–858.
- LI W., L. X. Z. Y. . H. J. Smart contract upgrade based on state transfer. In **International Conference on Blockchain**, p. 181 – 193, 5 2019.
- LUDÄSCHER, B. et al. Scientific workflows: Business as usual? In: DAYAL, U. et al. (Ed.). **Business Process Management**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009. p. 31–47. ISBN 978-3-642-03848-8.
- MIERS, C. et al. Análise de mecanismos para consenso distribuído aplicados a blockchain. SBC, 2019.
- MOUS K., K. K. L. S. T. P.; LEE, E. High-level business processes for agile b2b collaboration. In: **Proceedings of the 35th International MATADOR Conference, Taipei, Springer, London**. [S.l.: s.n.], 2007.
- NAKAMOTO, S.; BITCOIN, A. A peer-to-peer electronic cash system. **Bitcoin.–URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>**, v. 4, 2008.
- OMG NEEDHAM, M. Business process modeling notation (bpmn). In: . [S.l.: s.n.], 2007.
- OMOHUNDRO, S. Cryptocurrencies, smart contracts, and artificial intelligence. **AI matters**, ACM New York, NY, USA, v. 1, n. 2, p. 19–21, 2014.
- ORACLE. **Using Oracle Blockchain Platform**. 2023. <<https://docs.oracle.com/en/cloud/paas/blockchain-cloud/usingoci/using-chaincode-development-tools.html>>. Acessado: 17/12/2022.
- PALACIOS, V. D. S. Mapeamento e modelagem de processos a partir de um programa bpm com utilização de tecnologias digitais de informação e comunicação: pesquisa-ação em um setor administrativo de uma universidade pública). In: . [S.l.: s.n.], 2020.
- PDSA-RS. **Plataforma de Defesa Sanitária Animal do Rio Grande do Sul**. 2023. <<https://pdsa-rs.com.br/home>>. Acessado: 23/03/2023.
- PINTADO, O. L. et al. Controlled flexibility in blockchain-based collaborative business processes. **Information Systems**, p. 101622, 2020. ISSN 0306-4379. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306437920300946>>.
- SCHINLE, M. et al. Integration, execution and monitoring of business processes with chaincode. In: **2020 2nd Conference on Blockchain Research Applications for Innovative Networks and Services (BRAINS)**. [S.l.: s.n.], 2020. p. 63–70.
- _____. Integration, execution and monitoring of business processes with chaincode. In: **2020 2nd Conference on Blockchain Research Applications for Innovative Networks and Services (BRAINS)**. [S.l.: s.n.], 2020. p. 63–70.

SCHOLZ-REITER, B.; STICKEL, E. Business process modelling. In: **Business Process Modelling**. [S.l.: s.n.], 1996.

TANDON, A. et al. Blockchain in healthcare: A systematic literature review, synthesizing framework and future research agenda. **Computers in Industry**, v. 122, p. 103290, 2020. ISSN 0166-3615. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361520305248>>.

TAYLOR, P. J. et al. A systematic literature review of blockchain cyber security. **Digital Communications and Networks**, v. 6, n. 2, p. 147–156, 2020. ISSN 2352-8648. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864818301536>>.

WANG, S. et al. Blockchain-enabled smart contracts: architecture, applications, and future trends. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems**, IEEE, v. 49, n. 11, p. 2266–2277, 2019.

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: An International Journal**, Emerald Publishing Limited, 2019.

ZHENG, Z. et al. Blockchain challenges and opportunities: A survey. **International Journal of Web and Grid Services**, Inderscience Publishers (IEL), v. 14, n. 4, p. 352–375, 2018.

zur Muehlen, M.; INDULSKA, M. Modeling languages for business processes and business rules: A representational analysis. **Information Systems**, v. 35, n. 4, p. 379–390, 2010. ISSN 0306-4379. Vocabularies, Ontologies and Rules for Enterprise and Business Process Modeling and Management. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306437909000118>>.

NUP: 23081.052191/2023-32

Prioridade: Normal

Ato de entrega de dissertação/tese

134.334 - Dissertação e tese

COMPONENTE

Ordem	Descrição	Nome do arquivo
1	Dissertação de mestrado (134.334)	dissertacao glenio.pdf

Assinaturas

10/04/2023 20:19:48

ALENCAR MACHADO (PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR)
26.04.00.00.0.0 - DEPARTAMENTO DE ENSINO - DE-POLI



Código Verificador: 2609253

Código CRC: 15edf1d4

Consulte em: <https://portal.ufsm.br/documentos/publico/autenticacao/assinaturas.html>

