



De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial
na Gestão de Operações:**
Limitações e possibilidades



BLOCKCHAIN PARA RASTREABILIDADE DA CARNE BOVINA NO BRASIL: VALIDAÇÃO DE UM FRAMEWORK CONCEITUAL

GABRIEL HÚGLIO PINELI SIMÕES – 20191002800577@pucgoias.edu.br
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS – PUC GOIÁS

JOÃO VICTOR PORTO FERNANDES - joaovpfdev@gmail.com
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS – PUC GOIÁS

PRISCILLA INACIA DOS SANTOS MARINHO - 20222210400083@pucgo.edu.br
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS –PPGEPS PUC GOIÁS

MARIA JOSÉ PEREIRA DANTAS – mjpdantas@pucgoias.edu.br
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS – PPGEPS PUC GOIÁS

ÁREA: 9. ENGENHARIA DA SUSTENTABILIDADE
SUBÁREA: 9.7 - DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

RESUMO: O crescimento populacional global aumenta a demanda por alimentos, destacando a importância da rastreabilidade na gestão da qualidade e segurança alimentar. Este estudo foca na aplicação da tecnologia blockchain na cadeia de suprimentos da carne bovina no Brasil, visando melhorar a rastreabilidade e garantir a segurança dos produtos. A blockchain é um livro-razão distribuído e imutável que registra transações em blocos criptograficamente vinculados, oferecendo descentralização, transparência, segurança e rastreabilidade. A pesquisa adota o framework Hyperledger Fabric, que permite a criação de redes blockchain privadas e permissionadas, com canais, identidades e contratos inteligentes (Chaincode). A parceria com a empresa GoLedger foi essencial, fornecendo treinamentos e acesso à plataforma GoFabric para a implementação inicial. Para o teste do framework conceitual dados reais da Minerva Foods foram inseridos na rede blockchain, automatizados por scripts em Python, permitindo rastrear e gerenciar informações ao longo da cadeia de produção. Resultados indicam maior eficiência e transparência na rastreabilidade da carne bovina, beneficiando a indústria e os consumidores. Futuros aprimoramentos incluem a melhoria da interface do usuário, a integração de tecnologias emergentes, como IoT e aprendizado de máquina, e a inclusão de métricas de pegada de carbono para otimizar ainda mais a rastreabilidade e a conformidade regulatória. A integração dessas métricas permitirá monitorar e reduzir as emissões de carbono, promovendo práticas mais sustentáveis na indústria da carne bovina.

PALAVRAS-CHAVE: HYPERLEDGER FABRIC, SMART CONTRACT, GTA, PYTHON

1. INTRODUÇÃO

Como consequência do incessante crescimento populacional, a demanda por alimento no mundo enfrentará diversos desafios nos próximos anos, dentre eles a rastreabilidade (Felipe, 2020), que desempenha um papel vital na gestão da qualidade e segurança alimentar (Feng *et al.*, 2020).

Neste trabalho, destaca-se o trabalho voltado para a indústria de carne bovina, que é um dos setores alimentícios mais importantes do país. Em 2022, o Brasil terminou com 234,4 milhões animais, um crescimento de 4,3% em relação ao ano anterior (CNN BRASIL, 2022), considerando isso, as grandes empresas de abate estão preocupadas em fazer o rastreamento desses bois para as partes interessadas de forma confiável, segura e transparente.

É neste contexto que a tecnologia blockchain emerge como uma força transformadora. A tecnologia blockchain surgiu pela primeira vez no artigo de Satoshi Nakamoto (2008) e desde então tem sido cada vez mais aprimorada e aplicada em mais áreas. A tecnologia foi idealizada para servir de infraestrutura para a moeda digital Bitcoin, mas seu uso vai muito além das criptomoedas, sendo possível armazenar, acessar e gerenciar informações de um produto durante todo seu ciclo de produção e distribuição. (SILVA *et al.*, 2020).

Portanto, este trabalho visa aprofundar o estudo da tecnologia *blockchain* e sua aplicação no setor alimentício. O objetivo principal é analisar o potencial dessa tecnologia para melhorar a rastreabilidade da carne bovina, garantindo assim a segurança dos produtos consumidos e contribuindo de forma significativa para a sociedade, especialmente em um contexto de aumento da demanda por alimentos e preocupações crescentes com a procedência e qualidade dos produtos alimentícios.

O artigo está organizado em 5 seções. A seção 2 apresenta uma breve contextualização teórica sobre a cadeia, sobre a tecnologia *blockchain* e *framework* adotado na pesquisa, bem como aspectos da tecnologia para a mitigação do impacto ambiental. A seção 3 apresenta o modelo esperado e um diagrama de entidade-relacionamento correspondente, além do *smart contract* e obtenção dos dados reais. A seção 4 apresenta os resultados e discussão, com os *scripts* em python para a construção da *block* e a interface *web* simplificada para demonstrar o percurso de um produto ao longo de toda a cadeia de produção. As conclusões são apresentadas na seção 5, com direções futuras para ampliação da pesquisa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Cadeia de Suprimentos

Uma cadeia de suprimentos abrange todas as atividades, desde a obtenção de matérias-primas até a entrega do produto ao consumidor. A crescente complexidade das cadeias de suprimentos globais exige soluções inovadoras para garantir a rastreabilidade e a segurança dos produtos (FELIPPE, 2020). A tecnologia Blockchain tem apresentado resultados promissores neste contexto (KHANFAR, 2021)

2.2 Blockchain

A tecnologia *blockchain*, introduzida com o Bitcoin por Nakamoto (2008), é um livro-razão distribuído e imutável que registra transações em blocos criptograficamente vinculados. Cada bloco contém um *hash* do bloco anterior, criando uma cadeia segura e transparente. Essa tecnologia oferece a (1) descentralização que elimina a necessidade de intermediários, tornando o processo mais eficiente e seguro; (2) a transparência pois todas as transações são registradas e visíveis para os participantes autorizados, aumentando a confiança; (3) a segurança em função da imutabilidade dos registros garante a integridade dos dados, dificultando fraudes e adulterações; e a (4) rastreabilidade que permite registrar a origem e o histórico de um produto em todas as etapas da cadeia de suprimentos. As características da tecnologia atendem avanços desejáveis nas cadeias de suprimentos (FENG et al., 2020; KHANFAR, 2021)

2.3 Hyperledger Fabric

Para a implementação de uma rede *blockchain* vários *frameworks* podem ser usados, com destaque para o *Hyperledger Fabric*, de código aberto projetado para criar redes blockchain privadas e permissionadas (HYPERLEDGER, 2020). O framework apresenta recursos de (1) canais que permitem a criação de redes privadas dentro da blockchain, garantindo a confidencialidade dos dados; (2) identidades que controlam o acesso à rede, permitindo que apenas participantes autorizados realizem transações; (3) contratos inteligentes (*Chaincode*) que automatizam processos e regras de negócios, tornando a cadeia de suprimentos mais eficiente. A combinação da tecnologia *blockchain* com o Hyperledger Fabric oferece uma solução robusta para a rastreabilidade na cadeia de suprimentos, garantindo a segurança, a transparência e a eficiência do processo (TWESIGE, 2015).

2.4 *Análise de Impacto Ambiental*

A tecnologia *blockchain* pode revolucionar a cadeia de suprimentos da carne bovina, mitigando seu impacto ambiental ao oferecer rastreabilidade e transparência e todas as etapas, da produção ao consumo. Essa capacidade de rastreamento permite identificar e corrigir práticas não sustentáveis, incentivando produtores a adotarem métodos mais ecológicos e reduzindo a pegada de carbono. Segundo Kanfar et al. (2021) e Munir et al. (2021) a *blockchain* pode trazer maior transparência, confiabilidade, rastreabilidade e eficiência para a gestão da cadeia de suprimentos. Um exemplo notável é a colaboração entre a cadeia de suprimentos de alimentos do Wal-Mart e o IBM Food Trust, que melhorou a gestão de resíduos e a segurança alimentar.

Além disso, como destacado por Kumar et al. (2022), a integração com sensores IoT permite o monitoramento em tempo real das condições ambientais e de produção, potencializando ainda mais os benefícios da *blockchain*. Isso melhora a gestão de recursos e contribui para a redução das emissões de carbono ao otimizar a logística e minimizar perdas durante o transporte e armazenamento dos produtos (CRIPPA et al., 2021; ROSADO et al. 2020). Com a facilitação de certificações ambientais e a promoção de sistemas de incentivos para práticas agrícolas sustentáveis, como *tokens* de sustentabilidade e participação no mercado de carbono, a *blockchain* promove uma cadeia de suprimentos mais eficiente, transparente e ecológica. Esse processo aumenta a conscientização entre consumidores e produtores sobre a importância da sustentabilidade, incentivando a adoção de práticas que beneficiem tanto o meio ambiente quanto a indústria da carne bovina.

3. MÉTODO DE PESQUISA

Para atingir os objetivos estabelecidos neste projeto, foi adotada a abordagem metodológica descrita nas seções 3.1-3.5.

3.1 Pesquisas Bibliográficas e Revisões de Literatura:

Inicialmente, foram realizadas pesquisas bibliográficas na base científica da *Web of Science*, e em seguida revisões de literatura acerca do uso da tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos e rastreabilidade de produtos. A literatura existente destacou a importância da integridade e transparência dos dados na rastreabilidade da cadeia de

suprimentos, bem como sua capacidade de resolver problemas por meio da integração e automação (MENDONÇA et al., 2020, p. 55).

Conforme destacado por Twesige (2015), a tecnologia *blockchain* oferece vantagens cruciais para a rastreabilidade na cadeia de alimentos bovinos. Ela se destaca pela velocidade de conexão entre participantes, custo de implementação reduzido, acessibilidade pública, natureza de código aberto e programável, bem como por sua transparência e distribuição. Esses atributos combinados têm o potencial de aprimorar substancialmente a gestão da cadeia de suprimentos, garantindo maior confiabilidade, integridade e segurança em todas as fases, desde a produção até o consumo, beneficiando a indústria e os consumidores.

Após uma análise aprofundada da tecnologia *blockchain*, determinou-se que o *framework* mais adequado para a aplicação é o Hyperledger Fabric. A escolha desse *framework* se deve ao seu recurso de possibilitar a criação de redes privadas e permissionadas, garantindo que apenas identidades autorizadas tenham acesso e a capacidade de manipular a *blockchain*, conforme detalhado pela *Hyperledger* (2020), isso se alinha de forma precisa com os objetivos do projeto, uma vez que não se buscou por uma rede *blockchain* de acesso aberto, onde qualquer pessoa poderia interagir com os dados. O que se buscou foi a privacidade dos dados, permitindo que só atores autorizados dentro da rede tenham a capacidade de efetuar alterações, inserções ou manipulações nos dados. O *Hyperledger Fabric*, com sua estrutura de redes privadas e permissionadas, se mostrou a escolha ideal para garantir o controle sobre o acesso e a integridade dos dados, atendendo integralmente às necessidades do nosso projeto.

3.2 Parceria com a Empresa GoLedger

Depois de conduzir a pesquisa bibliográfica e confirmar o potencial da tecnologia *blockchain* para resolver os desafios de rastreabilidade na cadeia de produção de carne bovina, foi estabelecida uma parceria valiosa com a empresa GoLedger, sediada em Brasília. A GoLedger não apenas ofereceu suporte por meio de treinamentos e orientações especializadas, mas também concedeu acesso à sua plataforma GoFabric, desenvolvida para simplificar a implementação de redes *blockchain*. Essa parceria foi de extrema relevância, uma vez que, além dos treinamentos, a oportunidade de explorar o código-fonte da plataforma GoFabric. Isso proporcionou um entendimento mais profundo sobre como trabalhar diretamente com o *Hyperledger Fabric*, fortalecendo ainda mais a capacidade de implementar

efetivamente essa tecnologia em nosso projeto.

3.3 Primeira implementação da rede *blockchain*

Para testar e aprimorar gradualmente nosso entendimento sobre a implementação básica de uma rede *blockchain*, optou-se por utilizar a plataforma GoFabric. Isso permitiu criar uma rede *blockchain* de natureza privada e permissionada.

O modelo criado envolveu a divisão do ativo principal, um boi, em vários subativos representando as peças de carne, que por sua vez foram subdivididas em diferentes ativos correspondentes a produtos específicos.

A subdivisão de um ativo ocorreu mediante a criação de um ativo de outro tipo, seja uma peça de carne ou um produto, que mantém uma referência ao ativo que o originou. Essa abordagem permitiu que, ao acessar os dados de um produto específico, com a capacidade de rastrear todas as modificações que ocorreram naquele ativo ao longo do tempo, identificando qual peça de carne gerou esse produto, as alterações efetuadas no ativo pai, bem como o boi original de onde esse processo teve início e os detalhes do transporte desse boi.

Essa estrutura de rastreabilidade (Figura 1) dentro da rede *blockchain* proporcionou um panorama completo e transparente de todas as transações e transformações que ocorreram em cada etapa da cadeia de produção, garantindo maior controle e confiabilidade em relação ao histórico e procedência dos produtos. A Figura 2 mostra o diagrama de entidade-relacionamento associado ao modelo apresentado na Figura 1.

3.4 Aprofundamento da Rede *Blockchain* com *Hyperledger Fabric*

Com a familiarização dos conceitos fundamentais de *blockchain*, como ativos, transações, criptografia e hashes, na para a fase seguinte, ocorreu uma imersão mais profunda no desenvolvimento da rede *blockchain* diretamente no framework *Hyperledger Fabric*, sem a utilização das ferramentas oferecidas pela *GoLedger*.

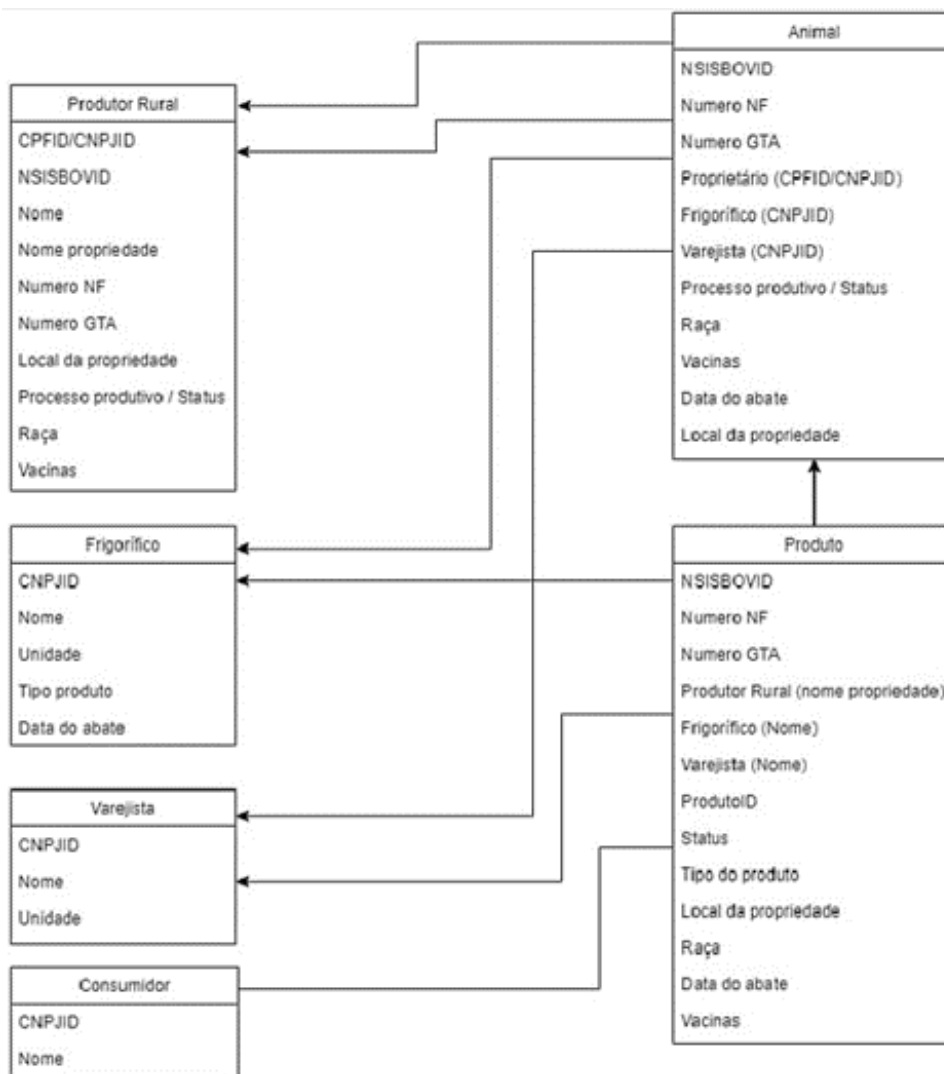
Nessa etapa, se dispensou tempo a um estudo minucioso sobre o funcionamento do *framework Hyperledger*. Para avançar, o pesquisador teve a necessidade de aprender a linguagem GoLang e a programar *Smart Contracts* (Figura 3), que são funções executadas dentro da *blockchain*, podem ser de leitura ou escrita de dados.

FIGURA 1 - Representação do funcionamento do sistema *blockchain*



Fonte: Autores

FIGURA 2 - Estrutura dos assets da *blockchain*



Fonte: Autores

FIGURA 3 - *Smart Contract* responsável por rastrear um *asset*.

```
func (t *SimpleChaincode) trackAsset(stub shim.ChaincodeStubInterface, args []string) pb.Response {  
    if len(args) != 1 {  
        return shim.Error("Expected 2 arguments")  
    }  
  
    assetId, err := NewAssetId(args[0])  
    if err != nil {  
        return shim.Error("Could not create asset id")  
    }  
  
    assetKey := GetKey(assetId)  
  
    historyIter, err := stub.GetHistoryForKey(assetKey)  
  
    if err != nil {  
        return shim.Error("Could not get history for asset")  
    }  
  
    result := "["  
    for historyIter.HasNext() {  
        modification, err := historyIter.Next()  
        if err != nil {  
            return shim.Error("Failed getting histories")  
        }  
  
        result += string(modification.GetValue())  
        if historyIter.HasNext() {  
            result += ", "  
        }  
    }  
    result += "]"  
  
    return shim.Success([]byte(result))  
}
```

Fonte: Autores

3.5 Obtenção de Dados Reais da Minerva Foods:

Após a implementação bem-sucedida da cadeia *blockchain*, o pesquisador autor principal assegurou o apoio da Minerva Foods, a empresa onde ele realiza seu estágio, para obter dados reais relacionados a abates, transportes e vendas. Com esses dados em mãos, o pesquisador concentrou seus esforços na tarefa de inseri-los de maneira automatizada na rede *blockchain*. Isso foi alcançado por meio da criação de *scripts* em Python (Figura 6), que processaram grandes volumes de dados organizados em tabelas pandas e permitiram a inserção gradual dessas informações na cadeia *blockchain*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos ao longo deste projeto de pesquisa, em colaboração com a empresa GoLedger, representam um marco significativo no aprimoramento do nosso entendimento sobre a tecnologia *blockchain*. Essa parceria proporcionou uma rica oportunidade de aprendizado e imersão no campo da *blockchain*, permitindo-nos explorar os fundamentos da criação de uma rede *blockchain* de maneira acessível e eficiente. A

habilidade de estabelecer conexões com *scripts* em JavaScript por meio de APIs para a construção de uma rede inicial desempenhou um papel fundamental em nossa curva de aprendizado e no fortalecimento da confiança na abordagem tecnológica. Essa sólida base de conhecimento adquirida durante a fase inicial do projeto permitiu uma sustentação mais sólida para enfrentar o desafio da implementação de uma rede *blockchain* baseada no *Hyperledger Fabric*.

Um dos desafios durante a implementação estava intrinsecamente ligado à definição de como os ativos e seus atributos seriam incorporados à rede *blockchain*. Reconhecendo que diferentes empresas podem armazenar informações distintas sobre seus produtos na cadeia de produção de alimentos, usou-se uma abordagem mais flexível e generalizada para representar esses ativos. Inspirados pelo exemplo estabelecido pela empresa GoLedger, os usuários do framework foram capacitados a definir os atributos e características dos ativos, simplificando o processo de criação por meio da especificação de um Identificador e da utilização de um dicionário formatado em JSON que encapsulou todos os dados relevantes do ativo.

Após a Configuração mencionada, foi criado um *asset* do tipo BOI (Figura 4). para trabalhar com os dados obtidos a partir da Minerva Foods. O boi, além de possuir os dados tradicionais, como número Sisbov e raça, também pôde carregar referências a outros ativos da cadeia, como o proprietário, a nota fiscal e a GTA (Guia de Trânsito Animal).

Vale ressaltar que tanto a nota fiscal quanto a GTA são consideradas ativos na cadeia *blockchain*. Embora não sofram modificações, sua presença como documentos imutáveis dentro da cadeia desempenha um papel fundamental, assegurando a integridade e confiabilidade do armazenamento desses documentos reais. Isso contribui para reforçar a segurança e a transparência no registro desses documentos essenciais ao longo da cadeia de produção.

Além disso, buscando otimizar a interação com a rede *blockchain*, foram desenvolvidos *scripts* em *hash* que automatizaram tanto a pesquisa (Figura 5) quanto a inserção de ativos (Figura 7). Esses scripts se revelaram particularmente valiosos ao lidar com grandes volumes de dados fornecidos pela Minerva Foods. A pesquisa de ativos dentro da rede, realizada com base no "order_number" (número da ordem do pedido), tornou-se uma ferramenta eficaz para rastrear o trajeto de produtos, identificar o lote de animais envolvidos e acompanhar a origem desses animais.

FIGURA 4 - Representação do *asset* boi.

```
{
  "asset": {
    {
      "@assetType": "Animal",
      "SISBOVID": 301,
      "Raca": "Angus",
      "ProcessoProdutivoStatus": [
        "Cria"
      ],
      "vacina": [
        "todas"
      ],
      "Proprietario": {
        "@assetType": "ProdutorRural",
        "@key": "ProdutorRural:a0c304de-ca90-5b15-b536-5b8425cc2e22",
        "@lastTouchBy": "ProdutorRuralMSP",
        "@lastTx": "createAsset",
        "ID": "41.709.806/0001-30",
        "Localpropriedade": "Goi??nia",
        "Nome": "Gabriel",
        "Propriedade": "Fazenda do Gabriel"
      },
      "NumeroNF": [
        {
          "@key": "notaFiscal:f4dcc643-023d-5d78-8c15-6440a77bdaa5"
        }
      ],
      "NumeroGTA": [
        {
          "@key": "gta:75181ed0-b3c6-5e58-8a3b-2230e6ec25e9"
        }
      ]
    }
  }
}
```

Fonte: Autores

FIGURA 5 - Script em *hash* para realizar procura de *asset* por “*order_number*”.

```
if [ $# -ne 1 ]; then
  echo "Pass a order number"
fi

resp=$(peer chaincode query -C minervachannel -n gocc -c "{\"Args\":[\"query\", \"$1\"]}")

echo $resp

if [ ${#resp} -ne 0 ]; then
  python create_html.py "$resp"
  echo 'html created'
  (cd ./html/ ; python3 -m http.server 8000)
fi
```

Fonte: Autores

FIGURA 6 - Script em python de leitura e tratamento de dados da Minerva Foods.

```
import pandas as pd
import re
import sys
import json

origin = pd.read_csv('../data/cattle_origin.csv', encoding='utf-8-sig')
dest = pd.read_csv('../data/cattle_dest.csv', encoding='utf-8-sig')

df = pd.concat([origin, dest], axis=1)

df = df.drop_duplicates('num_pedido_comex').reset_index()

df = df.filter(['pecuarista_name_txt', 'farm_name_txt', 'cattle_sisbov_id', 'state_typ', 'slaughter_dt', 'origem_export', 'num_pedido_comex'])

for col in df.columns:
    df[col] = df[col].astype('str', copy=False).str.strip()
    df[col] = df[col].map(lambda x: re.sub('[^a-zA-Z0-9,.\() / -]', '', x))

if (len(sys.argv) != 1):
    df = df.loc[int(sys.argv[1]) : int(sys.argv[2])]

str=df.to_dict(orient='records')
str = json.dumps(str, ensure_ascii=True)
print(str.replace("'", '"'))
```

Fonte: Autores

FIGURA 7 - Script em hash de inserção de dados tratados na cadeia *blockchain*.

```
row_num=$(python3 count_df_rows.py)

start_row=0

while [ $start_row -le $row_num ]
do
    echo $start_row
    end_row=$(( $start_row + $qtd_row - 1 ))

    orders=$(python3 insert_on_blockchain.py $start_row $end_row)

    prefix="{\"Args\": [\"createOrder\", \"\"
    suffix=\"\"]}"

    arg=$prefix$orders$suffix

    echo ${arg@Q}
    #echo $arg | escape

    #uncomment to insert orders
    #peer chaincode invoke -n gocc -C minervachannel -c "$arg"

    start_row=$(( $end_row + 1 ))
done
#peer chaincode invoke -n gocc -C minervachannel -c "{\"Args\": [\"createOrder\", \"$str\"]}"
```

Fonte: Autores

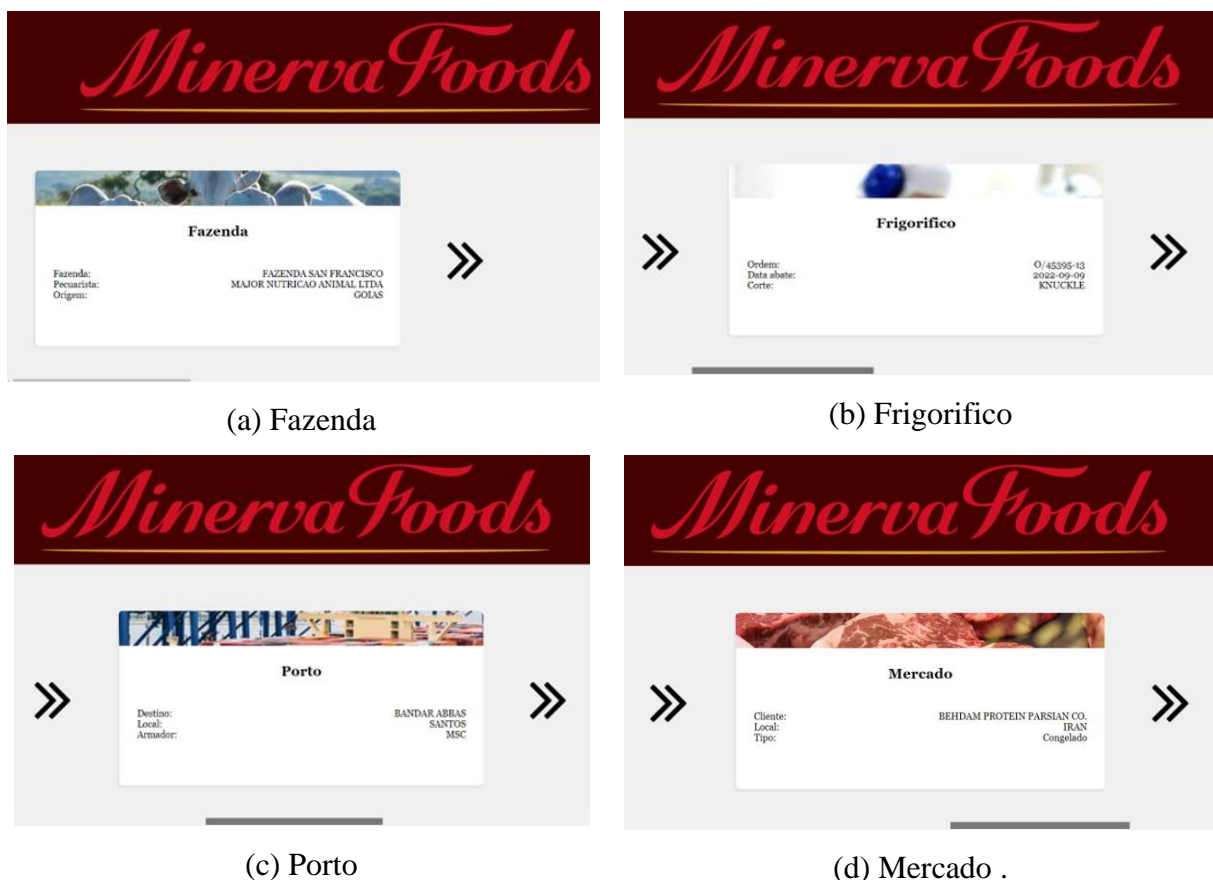
Com o intuito de tornar a visualização da rastreabilidade de produtos ainda mais acessível e intuitiva, optou-se por uma interface *web* simplificada, Figura 8 (a) –(d), que foi gerada automaticamente após a consulta de uma ordem. Essa interface ofereceu aos usuários uma forma conveniente e visualmente atraente de acompanhar o percurso de um produto ao longo de toda a cadeia de produção.

Em resumo, os resultados alcançados até o momento representam um avanço notável no campo da rastreabilidade na indústria de alimentos bovinos, proporcionando um sistema sólido e flexível para rastrear e gerenciar informações ao longo de toda a cadeia de produção.

4.1 Resultados e implicações:

- **Eficiência na Rastreabilidade:** A implementação bem-sucedida da rede *blockchain* revelou a eficiência e a confiabilidade do sistema na rastreabilidade da carne bovina. Os testes e validações demonstraram a capacidade de rastrear a origem dos produtos de forma precisa e transparente, proporcionando maior segurança aos consumidores.
- **Transparência e Confiança:** A tecnologia *blockchain* contribuiu para aumentar a transparência na cadeia de suprimentos de carne bovina. Isso não apenas atende às demandas dos consumidores por informações detalhadas sobre a origem dos produtos, mas também ajuda a construir a confiança na indústria alimentícia.
- **Desafios de Implementação:** Durante o projeto, alguns desafios foram enfrentados na definição de como os ativos e seus atributos seriam incorporados à rede *blockchain*. A flexibilidade na representação de ativos foi uma solução que atendeu a diferentes necessidades das empresas.

FIGURA 8 - Interface *web* simplificada



Fonte: autores

5. CONCLUSÕES

A conclusão que pode ser tomada visando os resultados alcançados até o momento é de que a utilização da tecnologia *blockchain* para rastreabilidade representa um avanço notável no campo da indústria de alimentos bovinos, proporcionando um sistema sólido e flexível para rastrear e gerenciar informações ao longo de toda a cadeia de produção, com potencial para melhorar a segurança e a transparência na indústria alimentícia. O projeto apresentou resultados promissores na melhoria da rastreabilidade na indústria de carne bovina. As próximas etapas se concentram em aprimorar a usabilidade, expandir a implementação e abraçar tecnologias inovadoras para fornecer uma solução ainda mais robusta e eficaz para a cadeia de suprimentos de alimentos.

5.1 Etapas futuras:

- **Aprimoramento da Interface do Usuário:** Uma próxima etapa importante envolve o aprimoramento da interface do usuário para tornar a visualização da rastreabilidade ainda mais acessível e intuitiva. Isso inclui a criação de dashboards interativos e amigáveis para os participantes da cadeia de suprimentos.
- **Integração com Tecnologias Emergentes:** A integração de tecnologias emergentes, como Internet das Coisas (IoT) e aprendizado de máquina, pode aprimorar ainda mais a rastreabilidade. Sensores IoT podem fornecer dados em tempo real sobre condições de transporte e armazenamento, enquanto algoritmos de aprendizado de máquina podem melhorar a análise de dados.
- **Conformidade Regulatória:** É essencial manter a conformidade com regulamentações em constante evolução na indústria de alimentos. Continuar a monitorar e adaptar a solução de *blockchain* para atender a esses requisitos é crucial.
- **Pegada de carbono:** Mala et al. (2023) apresenta uma *blockchain* baseado em sistema de inventário o que pode permitir o acompanhamento da pegada de carbono na cadeia. Esse processo aumenta a conscientização entre consumidores e produtores sobre a importância da sustentabilidade.

AGRADECIMENTO

Ao CNPQ pela bolsa PIBIC.

REFERÊNCIAS

CRIPPA, M., SOLAZZO, E., GUIZZARDI, D. et al. **Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions**. Nat Food, 2, 198–209. 2021.

<https://doi.org/10.1038/s43016-021-00225-9>

EMPRESA GoLedger. Página de informações: <https://goledger.com.br/gofabric/>

FELIPPE, Anderson Domeneguetto. **Modelo de rastreabilidade vinculado ao DNA para a cadeia da carne bovina baseado em Blockchain e Smart Contracts**. 2020.

FENG, H.; WANG, X.; DUAN, Y.; ZHANG, J.; ZHANG, X. **Applying blockchain technology to improve agri- food traceability: A review of development methods, benefits and challenges**. 2020.

HYPERLEDGER. Blockchain. 2020. Disponível em:

<https://hyperledgerfabric.readthedocs.io/pt/latest/blockchain.html>. Acesso em: 25 mar. 2023.

KHANFAR, A. A. A.; IRANMANESH, M.; GHOBAKHLOO, M.; SENALI, M.G.; FATHI, M. **Applications of Blockchain Technology in Sustainable Manufacturing and Supply Chain Management: A Systematic Review**. Sustainability 2021, 13, 7870.

<https://doi.org/10.3390/su13147870>

KUMAR M, CHOUBEY VK, Raut RD, JAGTAP S. **Enablers to achieve zero hunger through IoT and blockchain technology and transform the green food supply chain systems**. J Clean Prod-2023. 10.1016/j.jclepro.2023.136894

MALA P, PALANIVEL M, PRIYAN S. **Blockchain-based inventory system considering uncertain carbon footprints and pandemic effects**. Discrete Dyn Nat Soc-2023.

10.1155/2023/4403361

MENDONÇA, R. D. et al. *Utilização de Blockchain na Rastreabilidade da Cadeia Produtiva do Leite*. In: WORKSHOP EM BLOCKCHAIN: TEORIA, TECNOLOGIAS E

APLICAÇÕES (WBLOCKCHAIN), 3., 2020, Rio de Janeiro. Anais [...]. Porto Alegre:

Sociedade Brasileira de Computação, 2020. p. 55-60. DOI:

<https://doi.org/10.5753/wblockchain.2020.12433>.

MUNIR, M., HABIB, M., HUSSAIN, A. et al. **Blockchain adoption for sustainable supply chain management: Economic, environmental, and social perspectives**. Frontiers in

Energy Research, 10. 2021. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.899632>

NAKAMOTO, S. (2008) Bitcoin: **A Peer-to-Peer Electronic Cash System**.

<https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>

ROSADO da Cruz, A., SANTOS, F., MENDES, P., & Cruz, E. **Blockchain-based Traceability of Carbon Footprint: A Solidity Smart Contract for Ethereum**. In

Proceedings of the 22nd International Conference on Enterprise Information Systems -

Volume 2: ICEIS (pp. 258-268). SciTePress. 2020. DOI: 10.5220/0009412602580268

SILVA, F. G. C. e; CASTRO, A. de; SILVA, F. C. da; YANO, I. H.; (2020) Disponível em:
<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126142/uso-de-blockchain-para-registro-de-dados-de-cadeia-de-suprimentos-verde-da-industria-sucroenergetica>

TWESIGE, Richard Lee. "A simple explanation of Bitcoin and Blockchain technology."
Comput. Sci 1 (2015): 1-5.