

ChainTracer 2

Sistema de Avaliação de Risco Logístico utilizando Blockchain e Inferência Fuzzy aplicado na indústria farmacêutica

João R. H. Luckow

Ciências Exatas e da Terra - Ciências da Computação

Escola SESI de Referência - Joinville-SC

Contatos

joao_luckow@estudante.sesisenai.org.br
lucas25033@ilum.cnpem.br (Coorientador)
jonathan.sardo@edu.sesisc.org.br (Orientador)

Jonathan Sardo*

Orientador

Lucas Candinho**

Coorientador

Apoio

SESI Serviço Social da Indústria

IEL Instituto Euvaldo Lodi

ESCOLA **SESI**



Código Fonte: Organização no Github
Autoria Própria

Introdução

A proteção de dados na indústria farmacêutica é essencial para a manutenção da integridade da empresa e do cliente (FERRARI, 2025). Devido a diversos fatores sociais, legais e econômicos, a utilização de tecnologias de rastreamento na cadeia logística farmacêutica é imprescindível. Utiliza-se, nesse projeto, o protocolo de comunicação MQTT com lógica fuzzy para modelagem de ameaças, utilizando de inteligência computacional, por meio de inferências Mamdani, para identificar cenários de risco em situações incertas.

Pretende-se então, aumentar a segurança do transporte, mitigando e identificando riscos, porém também diminuindo o custo operacional necessário.

Objetivo

Como objetivo geral tem-se o desenvolvimento e validação de um sistema computacional que integre blockchain e lógica fuzzy para garantir a rastreabilidade de dados sensoriais e a avaliação adaptativa de riscos logísticos na cadeia de transporte farmacêutico.

Como específicos, detém-se:

- (1) Projetar uma arquitetura modular baseada em Java e Spring Boot, compatível com sensores físicos e comunicação MQTT;
- (2) Implementar um sistema de inferência fuzzy tipo Mamdani, utilizando variáveis como probabilidade de falha, impacto e detectabilidade;
- (3) Integrar sensores industriais ao sistema de coleta e transmissão de dados;
- (4) Realizar testes de bancada e simulações para avaliar acurácia do sistema fuzzy, consumo de memória e tempo de resposta;
- (5) Desenvolver uma interface web interativa para exibição de blocos e alertas de risco em tempo real;

Metodologia

Inicialmente, definimos o objetivo de desenvolver e validar um protótipo funcional para um sistema de avaliação de riscos na logística farmacêutica, utilizando tecnologias como blockchain e lógica fuzzy.

Para isto, foi utilizado como base o código da prova de conceito elaborada na primeira edição do projeto. Este projeto, de código aberto e disponibilizado na plataforma GitHub, foi desenvolvido em Java 21, com a pretensão de adequar-se aos padrões do mercado, enquanto mantém-se com a finalidade de demonstrar a aplicabilidade da solução.

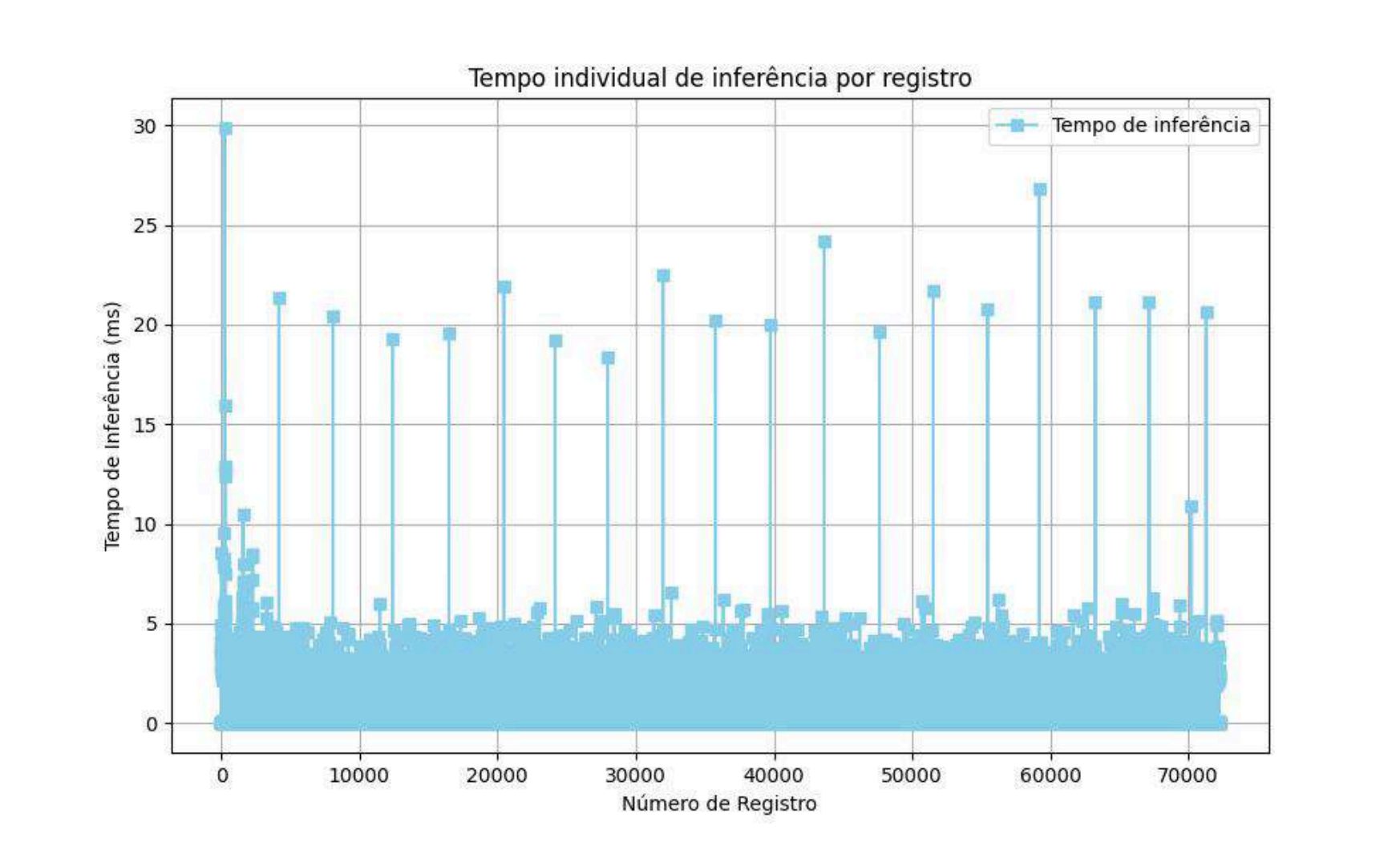
Destaca-se, nesta solução, a ausência da implementação de um método para recebimento dos dados remotamente. Portanto, optou-se por implementar o protocolo MQTT, de transmissão de mensagens leve e de fácil implementação (BANKS; GUPTA, 2015), destaca-se por sua aplicabilidade em sistemas IoT, além de ser comumente utilizada em aplicações pequenas (ATMOKO; Riantini; Hasin, 2017).

Deste modo, foi desenvolvido uma prova de conceito utilizando a biblioteca scikit-fuzzy, uma biblioteca com a implementação de diversos algoritmos de lógica fuzzy (WARNER et al., 2024) da linguagem de programação Python, que lê dados recebidos via MQTT, ou diretamente por linha de comando (como Temperatura, Umidade, Pressão, Latitude e Longitude do GPS NEO-M8N) e processa-os implementando a lógica fuzzy. O sistema responde aos dados com as seguintes métricas:

1. Variáveis de Entrada do Fuzzy (Impacto, Probabilidade e Detectabilidade);
2. Nível de Risco Calculado (0-10);
3. Tempo de Inferência (utilizado para medir performance da aplicação).

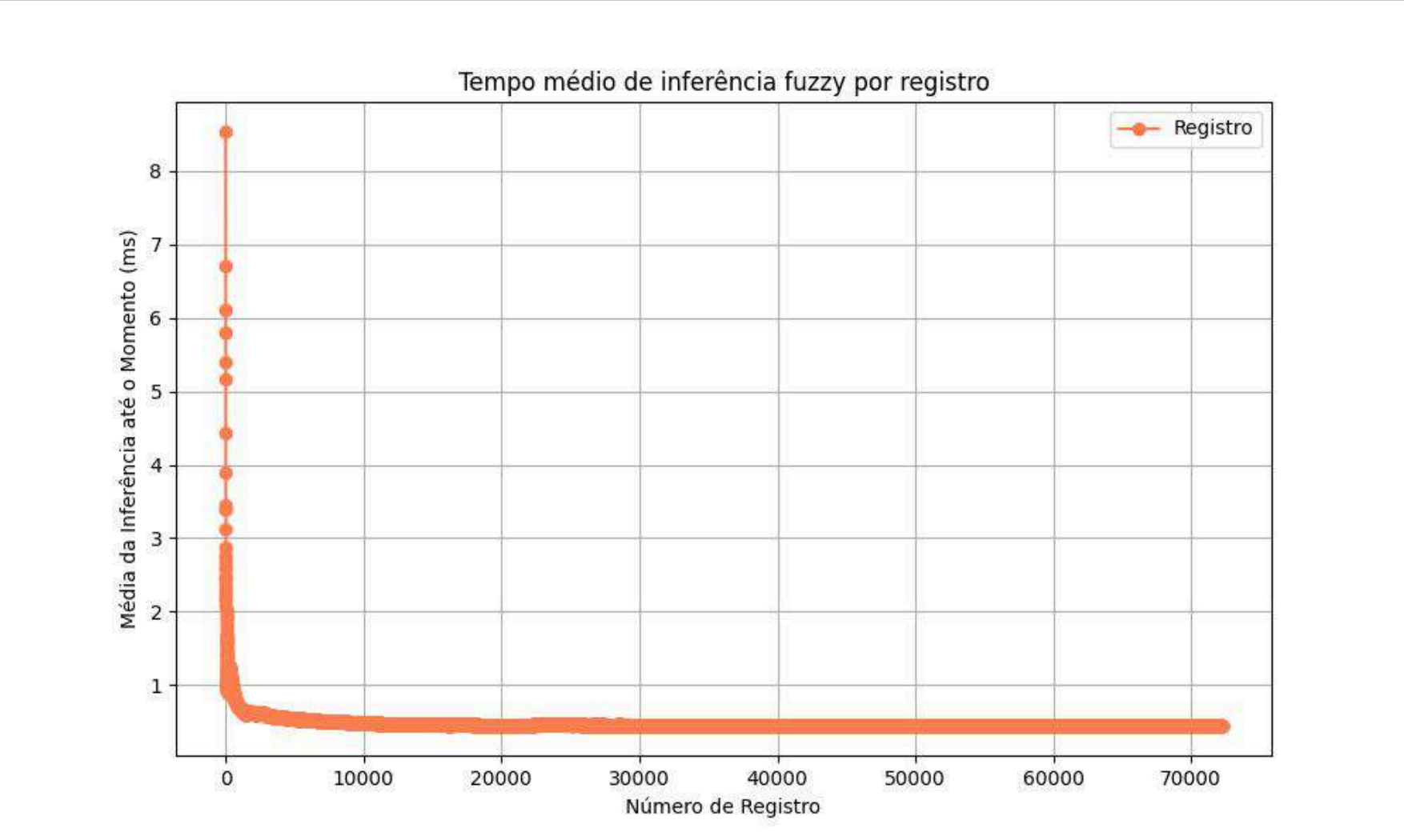
```
-----
| >>> Nova leitura recebida via MQTT (Simulação)
| Payload Bruto: {'temperature': 15.0, 'pressure': 1013, 'humidity': 75, 'gpsLatitude': 0.0, 'gpsLongitude': 0.0, 'timestamp': 1754354079806}
|
| >>> Camada de Tradução (Sensores -> Fuzzy)
| Impacto (0-10): 10.00
| Probabilidade (0-10): 6.50
| Detectabilidade (0-10): 0.00
|
| >>> Resultado da Inferência Fuzzy
| Nível de Risco Calculado (0-10): 8.36
| Telemetria - Tempo de Inferência: 2.7336 ms / Média : 4.0912 ms
|-----
```

Software para Inferência Fuzzy - Autoria Própria



Tempo individual de inferência por registro - Autoria Própria

Nota. Apesar da presença de outliers, causados por fatores diversos, eles não afetam a estabilidade da aplicação.



Tempo médio de inferência fuzzy ao decorrer dos registros. Autoria Própria

Nota. O gráfico demonstra a estabilidade do sistema ao longo do tempo. Os primeiros registros são computados de forma mais lenta, pois a aplicação ainda está em carregamento.



Conclusão

O desenvolvimento do ChainTracer 2 e a análise dos resultados com ele obtidos confirmam a hipótese de que a integração de um sistema de registro distribuído em blockchain com um motor de inferência fuzzy Mamdani é capaz de monitorar variáveis logísticas críticas e classificar cenários de risco em tempo real, mantendo consumo de memória reduzido e tempo de resposta inferior a 2ms. Os testes de bancada, executados por 10 horas consecutivas demonstram estabilidade na conexão e uso diminuto de recursos computacionais, com um throughput de mais de 71mil transações registradas em 7193 blocos, validando a robustez da arquitetura.

Registro de teste executado:

Finalizado 28/07/25 às 09:37 - 10:03:01 de execução

71847 transações / 7193 blocos

Média da latência: 0.4489ms

Uso de CPU: Decrescente, 3% no início e 0-2% quando estável

Uso de RAM: Entre 11 e 35 MB durante execução estável

Referências Bibliográficas

ATMOKO, R. A.; Riantini, R.; Hasin, M. K. IoT real time data acquisition using MQTT protocol. Journal of Physics: Conference Series, v. 853, n. 1, p. 012003, maio 2017.

BANKS, Andrew; GUPTA, Rahul (Ed.). MQTT Version 3.1.1 Plus Errata 01. 10 dez. 2015. OASIS Standard Incorporating Approved Errata 01. Disponível em: <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/errata01/os/mqtt-v3.1.1-errata01-os-complete.html>.

FERRARI, Édnei Alves Manzano. A LGPD e seus desafios: a importância da proteção de dados nas redes farmacêuticas. Migalhas, 28 jan. 2025. Disponível em: <https://www.migalhas.com.br/depeso/423530/a-lgpd-e-seus-desafios--protecao-de-dados-nas-redes-farmaceuticas>.