

Uma ferramenta de avaliação de desempenho para plataforma Blockchain Hyperledger Fabric: HLF-PET^{*}

Ericksulino Moura, Carlos Melo, Glauber Gonçalves,
Francisco A. Silva, André Soares

¹Universidade Federal do Piauí (UFPI), Picos - PI, Brazil

{ericksulino, carlos.alexandre, ggoncalves,
faps, andre.soares}@ufpi.edu.br

Abstract. *This paper introduces the HLF-PET, a Performance Evaluation Tool for HLF-based blockchain environments. Our research centers on the experimental validation of HLF-PET's effectiveness by sending workload to the Hyperledger Fabric platform. The HLF-PET can reach a high transaction rate and is flexible in sending transactions following a probability distribution model. Furthermore, HLF-PET provides timing data for each phase of the transaction flow, which enables system administrators to optimize resource allocation for deploying blockchain environments.*

Resumo. *Este artigo apresenta o HLF-PET, uma ferramenta de avaliação de desempenho para ambientes blockchain baseados em HLF. Nossa pesquisa centra-se na validação experimental da eficácia do HLF-PET, enviando carga de trabalho para a plataforma Hyperledger Fabric. O HLF-PET pode atingir uma alta taxa de transação e é flexível no envio de transações seguindo um modelo de distribuição de probabilidade. Além disso, o HLF-PET fornece dados de tempo para cada fase do fluxo de transação, o que permite aos administradores do sistema otimizar a alocação de recursos para a implantação de ambientes blockchain.*

1. Introdução

A tecnologia Blockchain surge como uma tecnologia disruptiva, especialmente nos setores industrial e de serviços, oferecendo soluções robustas para gerenciamento de dados seguro e descentralizado [Xu et al. 2019]. O seu principal objectivo é facilitar o registo seguro de interações e trocas entre partes distintas, tais como indivíduos ou organizações, que podem carecer de conhecimento e confiança mútuos.

As características definidoras do blockchain no registo de transações incluem imutabilidade, auditabilidade e consistência. Esses recursos são derivados de tecnologias integradas fundamentais para a criação de sistemas distribuídos, abrangendo criptografia assimétrica, algoritmos de consenso e redes peer-to-peer [Greve et al. 2018]. No entanto, melhorar o desempenho é crucial para garantir que as plataformas blockchain sejam eficazes em aplicações industriais, onde transações rápidas são frequentemente necessárias. Neste contexto, foram introduzidas estruturas de blockchain em redes privadas (ou autorizadas) [Androulaki et al. 2018].

^{*}Esta pesquisa é financiada com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) sob o processo PDPG-POSDOC-AUXPE nº 88881.830176/2023-01.

O Hyperledger Fabric se destaca como uma plataforma líder para a criação de infraestruturas de blockchain permitidas¹. Ele equipa os usuários com as ferramentas necessárias para estabelecer uma rede blockchain e executar aplicações descentralizadas, conhecidas como contratos inteligentes. Nesse cenário, os participantes da rede, normalmente formando um consórcio, dividem os gastos com infraestrutura, visando um nível de desempenho que supere o das redes públicas de blockchain.

Este artigo foca em **latência**, que se refere ao tempo que leva para uma transação ser confirmada e incluída na blockchain. Representa o atraso entre o envio de uma transação pelo usuário e sua confirmação final. Latência mais baixa geralmente indica processamento de transações mais rápido, o que é altamente desejável para aplicações em tempo real [Androulaki et al. 2018]. As principais contribuições deste artigo são:

- uma visão geral do estado da arte em relação a blockchain e benchmarking;
- uma ferramenta de avaliação de desempenho para plataforma HLF;
- um caso de teste experimental que demonstra a viabilidade da ferramenta proposta através de um cenário do mundo real.

As próximas seções estão organizadas da seguinte forma: A seção 2 apresenta trabalhos relacionados às ferramentas de avaliação de desempenho de blockchain. A seção 3 fornece uma visão geral da plataforma Hyperledger Fabric. A seção 4 apresenta o HLF-PET. A seção 5 apresenta os principais resultados obtidos. Por fim, a Seção 6 resume nossas considerações finais, limitações e trabalhos futuros.

2. Trabalhos relacionados

Uma forma de realizar avaliação de desempenho é por meio de benchmarks, que são ferramentas padronizadas utilizadas para comparar diferentes sistemas ou avaliar o desempenho de um sistema em relação a versões anteriores ou padrões estabelecidos [Jain 1991]. Em estudo anterior, [Touloupou et al. 2022] listou alguns dos benchmarks mais utilizados que focam na avaliação de desempenho de plataformas blockchain; adicionamos informações sobre como essas ferramentas se relacionam com este artigo.

O **BCTMark** [Saingre et al. 2020] é uma ferramenta de benchmark de código aberto que avalia algumas métricas de utilização de recursos, incluindo CPU e consumo de energia, e fornece os resultados obtidos para um painel que os tomadores de decisão podem usar para entender melhor o desempenho da plataforma blockchain que eles estão usando.

Diablo ferramenta de benchmark que avalia o rendimento e a latência de plataformas blockchain privadas e autorizadas [Gramoli et al. 2023]. Ethereum, CollarChain, Quorum e Hyperledger Fabric estão entre as plataformas avaliadas no teste fornecido pelos autores.

O **Distributed Ledger Performance Scan (DLPS)** proposto por [Sedlmeir et al. 2021] é outra ferramenta de benchmark de blockchain de código aberto que pode avaliar o rendimento e a latência das redes Ethereum, Hyperledger Fabric, Indy e Sawtooth.

¹<https://www.ibm.com/topics/hyperledger>

Blockbench é uma ferramenta de benchmarking de blockchain desenvolvida por [Dinh et al. 2017]. Este benchmark pode medir o desempenho de várias plataformas privadas de blockchain, incluindo Ethereum, Parity e Hyperledger Fabric. O Blockbench fornece um conjunto de ferramentas para medições de desempenho que inclui métricas de throughput, latência, escalabilidade e tolerância a falhas.

O **Hyperledger Caliper** [Hyperledger 2018] é outra ferramenta de benchmarking de blockchain desenvolvida pelo consórcio Hyperledger. O Caliper permite que os usuários meçam o desempenho de implementações específicas de blockchain usando um conjunto predefinido de casos de teste. Os relatórios gerados fornecem indicadores de desempenho como transações por segundo (TPS), latência e utilização de recursos.

Este artigo difere dos trabalhos anteriores, como o Hyperledger Caliper, ao fornecer uma Ferramenta de Avaliação de Desempenho (PET) específica para ambientes baseados em HLF. Enquanto o Caliper foca em métricas gerais como TPS, nossa ferramenta se distingue por capturar o tempo de cada etapa do fluxo de transação, incluindo o tempo de endosso, pedido e confirmação. Esses valores detalhados são cruciais para detectar gargalos específicos e melhorar o desempenho geral do sistema, com foco particular na latência e na vazão de transações.

3. Hyperledger Fabric - Visão geral

Os blockchains permitidos diferem dos públicos, como Bitcoin e Ethereum, principalmente por focarem em aplicações e sistemas industriais. A identificação de todos os nós da rede nessas blockchains é obrigatória, como exemplificado pelo Hyperledger Fabric (HLF), uma plataforma aberta mantida pela Hyperledger Foundation ². As aplicações dentro do HLF são conhecidas como *chain code* e são baseadas no conceito de contratos inteligentes definidos para redes Ethereum. A Figura 1 demonstra o fluxo de transações na rede HLF.

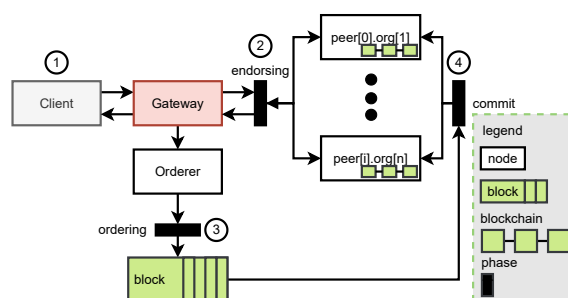


Figura 1. Hyperledger Fabric - Fluxo de transação

1. A partir da versão 2.5 do HLF, o fluxo inicia com a aplicação cliente enviando uma proposta de transação para um *gateway*, intermediário entre o cliente e os peers;
2. Os pares endossantes validam as transações com base nos *smart contracts*;
3. As transações são enviadas aos peers ordenadores para inclusão em blocos;
4. Os blocos são persistidos na blockchain pelo processo de *commit*.

O conceito de transação depende da aplicação e pode variar desde a criação de um novo objeto até a transferência ou consulta de informações relacionadas a esse objeto.

²<https://www.ibm.com/topics/hyperledger>

Na fase de endosso, em uma transação de transferência de mercadorias entre contas, por exemplo, é comum que a simulação verifique se o remetente é de fato o proprietário da mercadoria e se o destinatário existe. É comum que os pares endossantes pertençam a diferentes organizações distribuídas geograficamente (*org*) que não têm confiança mútua.

4. HLF-PET

O cliente HLF-PET é escrito em TypeScript e implementa uma interface de linha de comando (CLI) para interagir com uma rede HLF. O HLF-PET usa o HLF Gateway, que permite interações de contratos inteligentes e fornece uma biblioteca criptográfica para operações criptográficas. A configuração inicial envolve a definição de constantes como o nome do canal blockchain, nome do contrato inteligente, Membership Service Provider (MSP) e caminhos para certificados e chaves criptográficas. O HLF-PET implementa as seguintes operações:

- *initLedger()* inicializa o ledger;
- *getAllAssets()* consulta todos os ativos cadastrados;
- *createAsset()* adiciona novos ativos ao razão;
- *createAssetEndorse()* criação de ativos envolvendo fases de endosso antes da confirmação do razão;
- *createAssetEndorseBenchmarks()*, como o último, mas avaliando desempenho.

Um script Python chamado **BenchAle** também é fornecido para realizar experimentos seguindo uma distribuição de dados predefinida, como a Distribuição Exponencial. O script Python automatiza as operações do cliente para criação de ativos com status de endosso/envio/confirmação em intervalos de tempo específicos usando tempos aleatórios pré-gravados definidos em um arquivo CSV. Esses tempos simulam cargas de trabalho variáveis na rede blockchain, com resultados registrados em um arquivo de saída especificado. Mais informações sobre o HLF-PET podem ser vistas no GitHub³.

5. Resultados

Experimentos foram conduzidos em um ambiente configurado para avaliar o desempenho de redes blockchain, com foco no Hyperledger Fabric, utilizando o HLF-PET como ferramenta. Este ambiente incluiu um nó completo, dois pares de endosso e um solicitante, todos implantados em contêineres Docker. A máquina de teste, equipada com quatro núcleos físicos, 8 GB de RAM e 100 GB de armazenamento, executando o Ubuntu 22.04, Hyperledger Fabric 2.5 e Docker 24.

O objetivo desses experimentos foram avaliar o desempenho e a adaptabilidade do cliente HLF-PET em cenários do mundo real. Esses experimentos foram desenhados para analisar o comportamento do cliente em diversas situações, inclusive utilizando uma distribuição de tempos de solicitação. Foram utilizados tempos de solicitação coletados de um sistema distribuído real para avaliação do cliente HLF-PET.

5.1. Estudo de caso

Os dados coletados do sistema de armazenamento em nuvem Dropbox fornecidos por Gonçalves et al. (2016) [Gonçalves et al. 2016] foram utilizados nesta avaliação. Especificamente, usamos o conjunto de dados “Camp1” cobrindo o período de abril de 2014 a junho de 2014.

³https://github.com/LABPAAD/blockchain_performance

O método de Estimativa de Máxima Verossimilhança (MLE) foi aplicado para estimar os parâmetros da distribuição Exponencial utilizando a coluna timestamp. Posteriormente, foram realizados testes de Kolmogorov-Smirnov (KS) para validar a adequação das distribuições aos dados observados. Os parâmetros resultantes dessas análises foram então usados para gerar tempos aleatórios para a criação de cargas de trabalho sintéticas representativas.

Para simular diversos cenários de interação com o cliente HLF-PET, geramos solicitações sintéticas usando tempos de solicitação derivados da caracterização do Dropbox. Esses intervalos foram armazenados em um arquivo utilizado como entrada para o cliente HLF-PET nos experimentos. O cliente, por sua vez, utilizou esses tempos para gerar solicitações, seguindo o tempo caracterizado entre solicitações.

A Figura 2(a) fornece um comparativo entre os tempos simulados e as solicitações do ambiente real. A curva laranja originou-se de dados sintéticos, com tempo médio entre solicitações de 7,57 segundos (parâmetro λ).

A curva azul representa os dados reais caracterizados do Dropbox no “Camp1”, com um tempo médio entre solicitações de 7,12 segundos. O método MLE ajustou adequadamente a distribuição Exponencial aos dados reais. O teste estatístico Kolmogorov-Smirnov descrito no referencial teórico mostra uma distância de **0,052** e um $\alpha = 0,05$, fornecendo suporte estatístico de que não existe diferença significativa entre a distribuição experimental e os dados reais.

Os tempos obtidos na caracterização do Dropbox para 1000 envios foram utilizados para observar o comportamento do sistema. A Figura 2(b) mostra os tempos entre as solicitações geradas pelo cliente e a distribuição exponencial caracterizada. A curva laranja originou-se de dados sintéticos da distribuição Exponencial caracterizada, semelhante à Figura 2(a). Por outro lado, a curva azul representa os dados reais gerados pelo cliente, com tempo médio entre solicitações de 7.009 segundos. Pode-se observar que o cliente conseguiu criar solicitações sintéticas seguindo a distribuição exponencial utilizada como parâmetro de entrada.

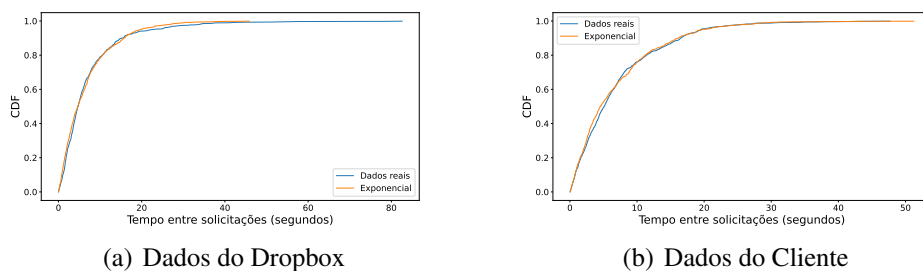


Figura 2. Caracterização dos dados com Distribuição Exponencial pela Função de Distribuição Cumulativa

6. Conclusão

Este artigo propõe o HLF-PET, uma ferramenta de avaliação de desempenho para plataformas Hyperledger Fabric. Através de uma série de estudos experimentais, demonstramos a viabilidade da ferramenta proposta e como ela pode ser utilizada por administradores de sistemas para entender melhor o desempenho de seu ambiente. As análises de

desempenho utilizam a rede de avaliação Hyperledger Fabric. Ao empregar o HLF-PET, podemos extrair os tempos de cada etapa do fluxo da transação, mostrando o valor do cliente proposto. Além disso, ilustramos que a ferramenta pode atingir alto rendimento e taxas mais baixas podem ser utilizadas para transmitir transações seguindo uma distribuição de dados predeterminada. Porém, é importante ressaltar que o cliente ainda está em desenvolvimento, tornando os resultados atuais inconclusivos. A evolução contínua do software sublinha a necessidade de uma abordagem flexível, que implica ajustes e refinamentos contínuos. Na interpretação dos resultados é imprescindível ter em mente a natureza dinâmica do processo de desenvolvimento do cliente HLF-PET.

Referências

- Androulaki, E., Barger, A., Bortnikov, V., Cachin, C., Christidis, K., De Caro, A., Enyeart, D., Ferris, C., Laventman, G., Manevich, Y., et al. (2018). Hyperledger fabric: a distributed operating system for permissioned blockchains. In *Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference*, page 30. ACM.
- Dinh, T. T. A., Wang, J., Chen, G., Liu, R., Ooi, B. C., and Tan, K.-L. (2017). Blockbench: A framework for analyzing private blockchains. In *Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Management of Data*, pages 1085–1100.
- Gonçalves, G., Drago, I., Da Silva, A. P. C., Vieira, A. B., and Almeida, J. M. (2016). The impact of content sharing on cloud storage bandwidth consumption. *IEEE Internet Computing*, 20(4):26–35.
- Gramoli, V., Guerraoui, R., Lebedev, A., Natoli, C., and Voron, G. (2023). Diablo: A benchmark suite for blockchains. In *Proceedings of the Eighteenth European Conference on Computer Systems*, pages 540–556.
- Greve, F., Sampaio, L., Abijaude, J., Coutinho, A. A., Brito, I., and Queiroz, S. (2018). Blockchain e a Revolução do Consenso sob Demanda. In *Proc. of SBRC Minicursos*.
- Hyperledger (2018). Hyperledger blockchain performance metrics white paper. Technical report.
- Jain, R. (1991). *The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling*. Wiley Computer Publishing, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Saingre, D., Ledoux, T., and Menaud, J.-M. (2020). Bctmark: a framework for benchmarking blockchain technologies. In *2020 IEEE/ACS 17th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*, pages 1–8. IEEE.
- Sedlmeir, J., Ross, P., Luckow, A., Lockl, J., Miehle, D., and Fridgen, G. (2021). The dlps: a new framework for benchmarking blockchains.
- Touloupou, M., Themistocleous, M., Iosif, E., and Christodoulou, K. (2022). A systematic literature review towards a blockchain benchmarking framework. *IEEE Access*.
- Xu, X., Weber, I., and Staples, M. (2019). *Architecture for blockchain applications*. Springer.