

# Uma Análise sobre o Impacto da Quantidade de Transações no Tamanho dos Blocos em Blockchain

Alan Nascimento Gomes, Israel Bessa Silva  
Criston Pereira de Souza, Emanuel Ferreira Coutinho

Programa de Pós-Graduação em Computação (PCOMP)  
Universidade Federal do Ceará (UFC) – Quixadá – CE – Brasil

alanng@alu.ufc.br, silvaisraelb@gmail.com

criston@ufc.br, emanuel.coutinho@ufc.br

**Abstract.** *Blockchain is an emerging technology that faces several challenges, such as ensuring data security. Blockchain platforms have different infrastructures depending on the application and different capabilities for writing and reading the ledger, as well as different computational structures and technologies, resulting in different performances. Additionally, there are several parameters to be configured, such as block size, time to create them, and number of transactions. This work analyzes the impact of the number of transactions applied to a blockchain on the size of the generated blocks, and the relationship between block size, latency, and throughput. For this purpose, experiments were designed in Hyperledger Fabric, varying the maximum number of transactions per block, and analyzed with a hypothesis test and graphs.*

**Resumo.** *Blockchain é uma tecnologia emergente que enfrenta diversos desafios, como garantir a segurança dos dados. Plataformas de blockchain possuem infraestruturas variadas conforme a aplicação e capacidades de escrita e leitura no livro razão, além de estruturas computacionais e tecnologias variadas, implicando em desempenhos diferentes. Adicionalmente, existem diversos parâmetros a serem configurados, como tamanho dos blocos, tempo para sua criação e quantidade de transações. Este trabalho analisa o impacto da quantidade de transações aplicadas a uma blockchain sobre o tamanho dos blocos gerados, e a relação entre tamanho do bloco, latência e vazão. Para isso, experimentos foram projetados no Hyperledger Fabric, variando a quantidade de transações máxima por bloco, e analisados com um teste de hipótese e gráficos.*

## 1. Introdução

A evolução das tecnologias de telecomunicações, microeletrônica e processamento de informações proporcionou o desenvolvimento de diversas áreas de pesquisa como a Internet das Coisas, Computação em Nuvem, Inteligência Artificial, *Big Data*, dentre outras [Coutinho et al. 2021]. Essas tecnologias propiciaram uma mudança no cotidiano ao gerar diversas informações e serviços. Porém, junto com essa revolução tecnológica, também emergiu um conjunto de novos desafios. Um desses desafios é garantir a segurança dos dados trafegados na Internet, seja pela geração, seja pela disponibilização. Além disso, é possível citar a auditabilidade da informação como um desafio, uma vez

que nem todos os dados permanecem intactos ou rastreáveis por um longo período. Nesse cenário, blockchain surgiu como uma possível solução para esses desafios, principalmente quanto à segurança, privacidade e auditabilidade dos dados que são armazenados.

Blockchain ganhou popularidade devido a ser vista como uma forma de evitar intermediários e descentralizar o sistema [Thakkar et al. 2018]. Desde então, surgiu um interesse crescente pela blockchain em diferentes domínios e casos de uso. Blockchain pode ser caracterizada por armazenamento distribuído dos dados em uma rede *peer-to-peer* [Zeng et al. 2019]. Esta tecnologia utiliza um algoritmo de consenso e criptografia para validar uma transação e armazená-la de forma segura e transparente. Por ser uma tecnologia distribuída, não existe um elemento central para validar as transações dos dados trafegados, eliminando um possível gargalo da rede.

Atualmente existem diversas soluções de blockchain, como Ethereum e Hyperledger Fabric [Shalaby et al. 2020]. Em geral, essas plataformas disponibilizam as mesmas funcionalidades, como capacidade de escrita e leitura no livro razão (*ledger*), e projeto de infraestruturas variadas conforme a necessidade da aplicação e da instituição. Entretanto, suas estruturas computacionais são diferentes, suas tecnologias são variadas, a quantidade de ferramentas para desenvolvimento e gestão do ambiente é grande. Isso naturalmente implica em desempenhos diferentes.

Apesar das proeminentes vantagens do blockchain, ainda há uma série de questões técnicas a serem abordadas quando se trata de definir qual plataforma adotar [Dabbagh et al. 2020]. A diversidade de configurações em um blockchain também é imensa. Por exemplo, há muita preocupação com o desempenho das plataformas de blockchain e sua capacidade de lidar com um grande volume de transações em baixa latência [Thakkar et al. 2018]. Existem diversos parâmetros a serem configurados conforme a necessidade, como tamanho dos blocos, quantidade de transações, tempos para criação dos blocos e recursos computacionais consumidos. Além disso, as características da rede e quantidade de operações realizadas sobre a blockchain também influenciam no desempenho, impactando aplicações e infraestruturas, variando tempos de execução, latências e *throughput*. Assim é interessante estudar os impactos que as características da estrutura da blockchain podem provocar no ambiente e na qualidade do serviço.

Este trabalho tem como objetivo analisar o impacto da quantidade de transações aplicadas a uma blockchain sobre o tamanho dos blocos gerados. Tal impacto é em relação a espaço em disco, latência e *throughput*. Para isso, um conjunto de experimentos foi projetado sobre o Hyperledger Fabric, com diferentes cargas de trabalho, variando a quantidade de transações máxima por bloco, e analisados por meio de um teste de hipótese e gráficos. Como resultados, obtivemos com significância de 10%: (i) o tamanho do bloco afeta a latência e o *throughput*, e as variações nas cargas não afetam nenhuma destas métricas; e (ii) existe diferença significativa na latência média e no *throughput* médio entre o tamanho de bloco 58kb e os outros tamanhos de bloco testados (285kb e 568kb).

## 2. Trabalhos Relacionados

Dinh et al. (2017) apresentaram o BLOCKBENCH, uma aplicação para análise de blockchains privadas. Qualquer blockchain privada pode ser integrado ao BLOCKBENCH por meio de APIs e comparada com cargas de trabalho baseadas em contratos inteligentes reais e sintéticos. O BLOCKBENCH mede o desempenho geral e de componentes em

termos de rendimento, latência, escalabilidade e tolerância a falhas. Uma avaliação de três blockchains privadas foi conduzida: Ethereum, Parity e Hyperledger Fabric, demonstrando que tais sistemas ainda estão longe de substituir os sistemas de banco de dados atuais em cargas de trabalho de processamento de dados tradicionais.

Thakkar et al. (2018) caracterizaram o desempenho do Hyperledger Fabric, identificando gargalos de desempenho. Inicialmente se estudou o impacto de vários parâmetros de configuração, como tamanho de bloco, política de endosso, alocação de recursos, escolha de banco de dados de estado na taxa de transferência e latência da transação. Os principais gargalos foram: verificação de política de endosso, validação de política sequencial de transações em um bloco e validação de estado e confirmação. Otimizou-se o uso do Hyperledger Fabric, com a introdução de otimizações simples, como cache agressivo para verificação da política de endosso no componente de criptografia e paralelização da política de endosso verificação. Além disso, aprimorou-se e mediu-se o efeito de uma otimização de leitura / gravação em massa existente para CouchDB durante a validação de estado e a fase de confirmação. Ao combinar todas as três otimizações, melhorou-se a taxa de transferência geral em 16 vezes (de 140 tps para 2250 tps).

Shalaby et al. (2020) analisaram a personalização do comportamento da blockchain baseado em requisitos dos aplicativos, com diversos experimentos para avaliar o desempenho do Hyperledger Fabric. Sete cenários diferentes foram testados para representar o comportamento da blockchain na latência da transação de ponta a ponta e na taxa de transferência da rede. Além disso, os autores estudaram o impacto de diferentes parâmetros, como tempo limite do lote, tamanho do lote e número de endossantes.

Rodrigues e Rocha (2021) analisaram a eficácia da blockchain na implementação de um banco de dados para IoT, avaliando a eficiência do processamento das transações originadas de dispositivos inteligentes e integridade dos dados armazenados. A eficiência do processamento foi realizada com modelagem analítica e Teoria das Filas, estimando-se o tempo médio de confirmação da transação. A integridade dos dados foi medida com simulações, estimando-se a probabilidade de fraudadores alterarem os dados já armazenados. Os resultados mostraram que a blockchain pode atender aos requisitos de eficiência da IoT, fornecendo integridade de dados adequada.

A Tabela 1 exibe uma comparação entre os trabalhos relacionados e nossa proposta, conforme alguns critérios definidos.

**Tabela 1. Comparação entre trabalhos relacionados**

Trabalho	Plataforma	Métricas	Carga de Trabalho	Domínio
[Dinh et al. 2017]	Blockbench	Transações, latência, <i>throughput</i> , tempo, recursos computacionais	Macro e microbenchmarks próprios	Geral
[Thakkar et al. 2018]	Hyperledger	Latência, <i>throughput</i> , tempos, recursos computacionais	Benchmarks próprios	Geral
[Shalaby et al. 2020]	Hyperledger	Latência, <i>throughput</i> , blocos confirmados	Benchmarks próprios	Geral
[Rodrigues and Rocha 2021]	Teoria das filas	Probabilidade de fraude, tempo de confirmação da transação	Dados de dispositivos inteligentes	IoT
Este trabalho	Hyperledger	Latência, <i>throughput</i> , Tamanhos dos blocos (Kb)	Hyperledger Caliper	Geral

### 3. Materiais e Métodos

O objetivo deste experimento é analisar os efeitos de variações em parâmetros da blockchain sobre o tamanho dos blocos e o desempenho. Isso impacta na quantidade de transações por bloco, espaço em disco e tempos de validação de blocos. Para o experimento, uma blockchain foi projetada no Hyperledger Fabric, por ser uma infraestrutura de

blockchain amplamente utilizada. A infraestrutura utilizou 4 máquinas virtuais da Google Cloud Platform para a composição dos nós da blockchain, tipo e2-medium (2 vCPUs, 4 GB RAM). Cada máquina virtual é uma organização na rede do Hyperledger, sendo no total 4. As organizações são responsáveis por manter os componentes da rede. Nas instâncias das máquinas virtuais das organizações 1 a 3 define-se os nós (peerX.OrgY), componentes que mantêm o livro razão e executa operações de leitura/gravação no livro razão. Para cada uma dessas organizações é definida uma Autoridade de Certificação, responsável por emitir certificados para os atores da rede. Por fim, na organização 4 são definidos os componentes *Orders*, responsáveis por ordenar as transações em um bloco e depois distribuir os blocos aos pares conectados para validação e confirmação.

Para a geração das cargas de trabalho utilizou-se o Hyperledger Caliper, que também coleta algumas métricas. O Hyperledger Caliper é uma ferramenta de benchmark de blockchain que permite aos usuários medir o desempenho de blockchain com um conjunto de casos de uso predefinidos, produzindo relatórios contendo indicadores de desempenho para servir de referência ao usar soluções com o Hyperledger. O Hyperledger Explorer foi utilizado para analisar os blocos e coletar o tamanho, sendo uma ferramenta web amigável usada para visualizar, invocar, implantar ou consultar blocos, transações e dados associados, informações de rede (nome, estados, lista de nós), códigos de cadeia e famílias de transações. Para a análise e interpretação dos dados, utilizaremos estatística descritiva, gráficos e teste de hipóteses.

A carga de trabalho aplicada ao experimento consistiu de um sorteio de sequências de operações de escrita e leitura na blockchain, geradas pelo Hyperledger Caliper. As operações de leitura e escritas foram contratos inteligentes desenvolvidos em Go, e basicamente inseriam e liam alguns dados na blockchain. Ao todo, foram 10 sequências de escrita e leitura, variando de 100 a 1000 operações, com incrementos de 100. O sorteio foi na sequência do múltiplo de 100 e assim por diante. Isso para se avaliar se essa aleatoriedade nas sequências de operações é significativa para os resultados. O Hyperledger Caliper também retorna as seguintes métricas: taxa de envio de requisições (transações por segundo), latência (segundos) e *throughput* (transações por segundo). O Hyperledger Explorer retorna a métrica tamanho dos blocos gerados.

Alguns parâmetros da infraestrutura de blockchain foram configurados como fixos para a análise posterior. O *timeout* define o tempo de espera para a criação de um bloco, e após alguns testes se mostrou com bons resultados no valor de 7s. O tamanho máximo do bloco foi definido com 99Mb, que é o valor padrão do Hyperledger. O Hyperledger Caliper gerava transações a uma taxa de 18 tps. A quantidade de transações por bloco foi variada conforme o projeto do experimento.

#### **4. Resultados e Análises**

No total, 11000 transações foram geradas a cada experimento, sendo 5500 de leitura e 5500 de escrita (Tabela 2). Na blockchain foram identificadas 5511 transações, apenas de escrita, e algumas a mais apenas para teste do ambiente e configuração. Destaca-se que transações de leitura apenas consultam os dados na blockchain, não sendo inseridas nos blocos. A quantidade de blocos resultante variou conforme a configuração de quantidade de transações máxima por bloco (10, 50 e 100), resultando em 561, 121 e 66. O tamanho dos blocos também variou conforme a configuração de quantidade de transações máxima

**Tabela 2. Experimentos com variação da quantidade de transações por blocos**

Experimento	Qtd. de Transações por Bloco	Qtd. de Blocos	Tamanho Máximo do Bloco	Qtd. de Transações
1-5	10	561	58	5511
6-10	50	121	285	5511
11-15	100	66	568	5511

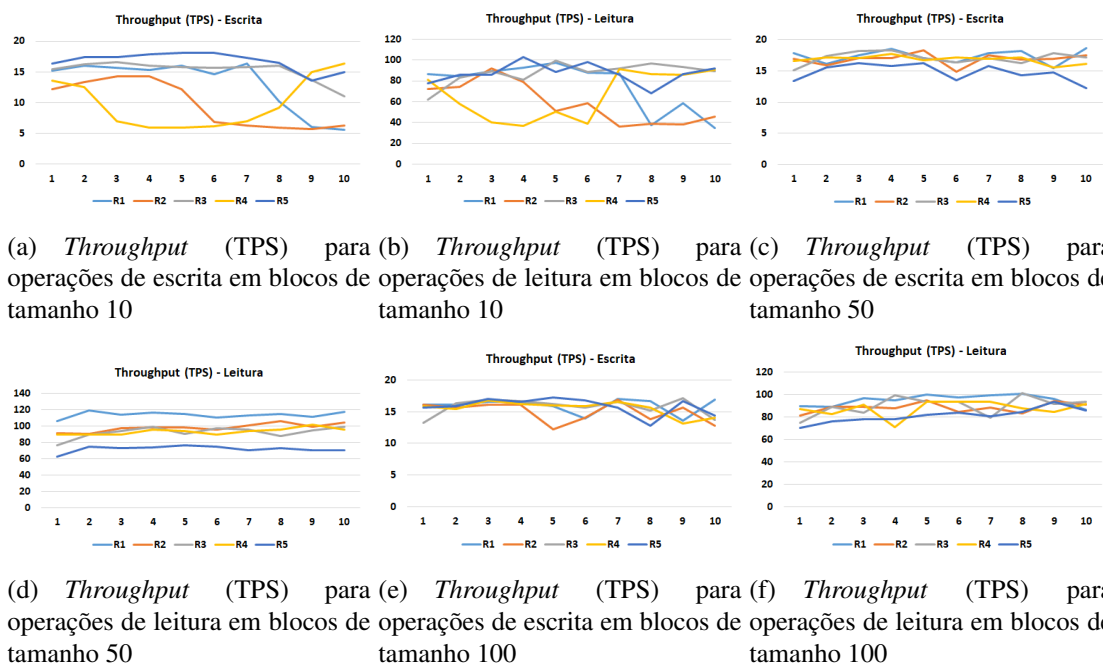
por bloco, resultando em 58Kb, 285Kb e 568Kb por bloco.

Cada uma das cargas de trabalho variou entre de 10, 50 e 100, conforme projeto de experimentos. E cada um desses experimentos foi composto por uma sequência aleatória, com 10 sub-cargas variando de 100 a 1000, com múltiplos de 100 (denominado de 1 a 10). E para cada experimento ocorreram transações de leitura e escrita. Para cada experimento houveram 5 repetições (denominado de R1 a R5).

A Figura 1 apresenta alguns gráficos *throughput* (TPS) para operações de escrita e leitura em blocos de tamanho 10, 50 e 100. Percebe-se que a faixa de intervalo não variou muito para operações de escrita, sendo em torno de 5 a 20 tps, onde para valores mais altos do tamanho do bloco a faixa do *throughput* foi se estreitando. Para operações de leitura seguiu o mesmo comportamento, com *throughput* variando de 40 a 120 tps.

Nesta seção apresentamos os resultados experimentais e uma análise estatística que permite concluir, com significância 10%, que o tamanho do bloco afeta a latência e o *throughput*. Utilizamos para isso uma análise de variância (ANOVA) [Fisher 1992] com um único fator (tamanho de bloco) e três níveis (58kb, 285kb e 568kb). Os resultados obtidos para a latência são fornecidos na Seção 4.1, e para o *throughput* na Seção 4.2.

Seguindo o procedimento descrito na Seção 3, replicamos 5 vezes e construímos cinco cargas, denotadas por  $L_1, L_2, \dots, L_5$ . Uma execução foi realizada para cada par



**Figura 1. *Throughput* (TPS) para operações de escrita e leitura em blocos de tamanho 10 kb, 50 kb e 100 kb**

**Tabela 3. Latência e *throughput* médios calculados em cada experimento**

Latência						
Tamanho do bloco em Kb	L1	L2	L3	L4	L5	Média das Cargas
58	168,59	295,19	61,55	257,11	47,91	166,07
285	41,00	40,27	38,99	39,29	84,70	48,85
568	94,62	112,60	71,64	85,70	84,79	89,87
Throughput						
Tamanho do bloco em Kb	L1	L2	L3	L4	L5	Média das Cargas
58	44,33	34,07	51,34	37,85	51,96	43,91
285	65,60	57,59	54,75	55,11	43,45	55,30
568	55,44	51,60	52,89	51,57	48,53	52,00

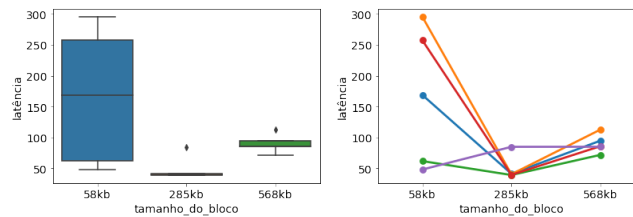
(tamanho de bloco, carga), totalizando quinze execuções. As execuções envolveram uma carga de cada vez, ou seja, primeiro todas as execuções com a carga  $L_1$ , depois todas as execuções com a carga  $L_2$ , assim sucessivamente. Desta forma, como a ordem das execuções não foi aleatorizada, os efeitos observados podem ter sido causados por flutuações no ambiente de execução. Em cada execução as métricas latência e *throughput* foram coletadas, visualizadas na Tabela 3. Vamos denotar por  $y_{ij}$  uma das métricas coletadas na execução envolvendo o  $i$ -ésimo tamanho de bloco e a carga  $L_j$ , e por  $Y_{ij}$  a variável aleatória correspondente. A relação entre esta métrica, o tamanho do bloco e a carga é modelada pela expressão

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}, \quad (1)$$

para  $i \in \{1, 2, 3\}$  e  $j \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$ , onde  $\mu$  é a média considerando todos os tamanhos de bloco e cargas,  $\tau_i$  é o efeito do  $i$ -ésimo tamanho de bloco,  $\beta_j$  é o efeito da  $j$ -ésima carga, e  $\epsilon_{ij}$  representa o erro de medição da observação  $y_{ij}$ . Assume-se que  $\epsilon_{ij}$  tem distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$ . Além disso, considera-se que  $\sum_{i=1}^3 \tau_i = 0$  e  $\sum_{j=1}^5 \beta_j = 0$ , pois os efeitos excedentes podem ser transferidos para  $\mu$ . Estas suposições foram verificadas através da análise dos resíduos  $\epsilon_{ij}$  discutida nas seções 4.1 e 4.2, cujos resultados são apresentados nas figuras 3 e 5. Note que a relação descrita na Equação (1) considera também o efeito das cargas, permitindo assim testar se as variações nas cargas geram efeito significativo nas métricas.

#### 4.1. Análise da Latência

Na Figura 2(a) temos o boxplot da latência (em segundos) por tamanho de bloco, onde agrupamos as instâncias listadas na Tabela 2 por tamanho de bloco. Percebemos que a latência teve uma variação maior para blocos de tamanho 58kb. Além disso, a mediana da latência é menor para blocos de tamanho 285kb, mas esta mediana é próxima da mediana para blocos com 568kb. A Figura 2(b) exibe a latência (em segundos) de cada carga para cada tamanho de bloco, onde cada ponto corresponde a uma instância na Tabela 2. Cada



(a) Boxplot dos tamanhos de blocos (kb) e latência (s) (b) Variação da latência (s) conforme carga de trabalho

**Figura 2. Latência variando o tamanho do bloco**

curva nesta figura corresponde a uma das cinco cargas (coluna “quantidade de transações por bloco” da Tabela 2). A latência para o bloco de tamanho 285kb foi do grupo de quantidade de transações 50. Na sequência de experimentos, este foi o executado por último. Uma explicação para esta variação pode ter sido o horário de execução na nuvem, pois a rede pode ter melhorado, e conseqüentemente latências menores. A questão do sorteio de qual carga de trabalho seria executada na sequência minimizaria esse efeito.

A mediana foi menor nos blocos maiores. As cargas de trabalho foram as mesmas, só a ordem é que variava. As taxas também foram fixas (18 tps). O tempo para se criar um novo bloco também foi fixo (7s). Com blocos maiores (e mais transações inseridas), quantidade de blocos menor, e à medida em que a quantidade de blocos vai diminuindo, menos tempo para configurações de novos blocos e mesmo latência. Essa latência se deve ao fato da espera sempre para criar um novo bloco, o que é tempo de configuração e infraestrutura, e não “tempo útil”. Nesses casos demorava um pouco para a transação realmente ser inserida. Tanto que a quantidade de blocos do menor é quase 5 vezes maior que a do bloco maior (561 e 66).

A análise de variância para a latência, de acordo com o modelo da Equação (1), está resumida na Tabela 4. Como o  $p$ -value é maior que a significância de 10%, não podemos afirmar que a variação nas cargas afeta a latência, ou seja, não refutamos a hipótese de que os  $\beta$ 's são nulos. Por outro lado, como o  $p$ -value vale aproximadamente 0,06 para a variação no tamanho dos blocos, com significância de 10% podemos afirmar que o tamanho do bloco afeta a latência, refutando a hipótese de que os  $\tau$ 's são nulos.

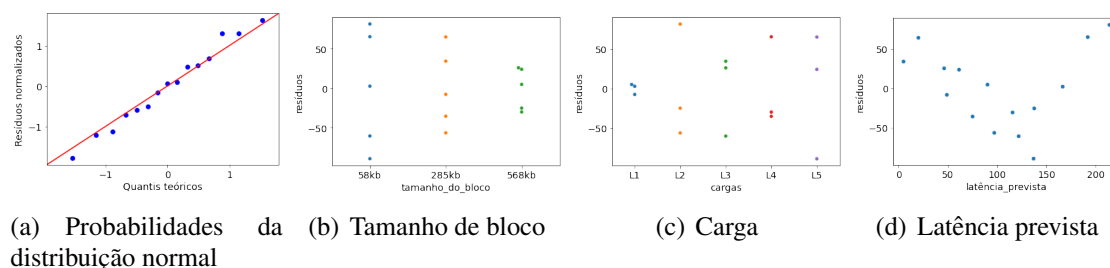
Fonte de variação	Soma quad.	Graus lib.	Média quad.	F	$p$ -value
Carga	17241.963200	4	4310.490800	0.981478	<b>0.469111</b>
Tamanho do bloco	35382.681333	2	17691.340667	4.028235	<b>0.061625*</b>
Resíduos	35134.677400	8	4391.834675		

**Tabela 4. Tabela ANOVA para a latência**

Para identificar quais pares de tamanhos de bloco possuem diferença significativa na latência média, usamos o método LSD (*least significant difference*) de Fisher [Fisher 1992]. As latências médias para os tamanhos 58kb, 285kb e 585kb foram 166,07, 48,85 e 89,87, respectivamente. Conforme o método, e usando significância de 10%, o valor mínimo do módulo da diferença entre as médias para considerarmos as médias distintas é 74,70. Concluimos que existe diferença significativa na latência média entre o tamanho de bloco 58kb e os outros dois tamanhos de bloco, pois  $|166,07 - 48,85| = 117,22 > 74,70$  e  $|166,07 - 89,87| = 76,20 > 74,70$ . Não existe, porém, diferença significativa entre os tamanhos de bloco 285kb e 585kb, pois  $|48,85 - 89,87| = 41,02 < 74,70$ .

Para verificar se o modelo adotado é apropriado é necessário fazer uma análise dos resíduos. O resíduo de uma observação  $y_{ij}$  é a diferença entre o valor desta observação e o valor previsto pela Equação (1). Na Figura 3(a) temos o gráfico de probabilidades para distribuição normal aplicado aos valores dos resíduos<sup>1</sup>, de onde podemos concluir que os resíduos se ajustam satisfatoriamente a uma distribuição normal. Nas figuras 3(b) e 3(c), os valores dos resíduos estão organizados por tamanho de bloco e por carga, respectivamente, de onde concluimos apenas que parece haver uma redução na dispersão

<sup>1</sup>Quanto mais próximos os pontos estão da reta, mais confiantes estamos de que os resíduos seguem uma distribuição normal. Note que pelo modelo os resíduos são provocados pelos termos  $\epsilon_{ij}$ , que possuem distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$ .

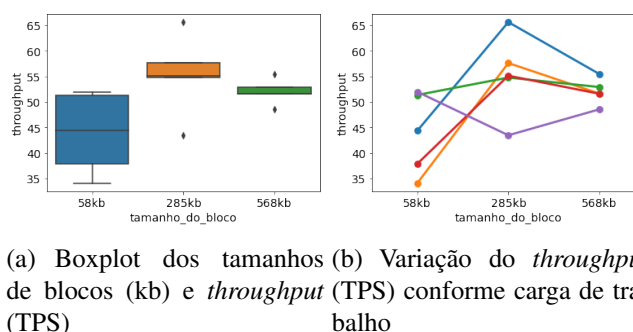


**Figura 3. Análise dos resíduos para a latência**

com o aumento do tamanho do bloco. Finalmente, na Figura 3(d) temos os valores dos resíduos organizados pelo valor previsto pela Equação (1), de onde observamos uma aparente redução seguida de aumento no valor do resíduo. Estes padrões observados nas figuras 3(b) e 3(d) merecem investigação.

## 4.2. Análise do *Throughput*

Nesta seção fornecemos uma análise para a métrica *throughput*, similar à análise feita para a latência na Seção 4.1. Na Figura 4(a) temos o boxplot para o *throughput* (em transações por segundo) por tamanho de bloco, onde percebemos novamente uma maior variação para blocos de tamanho 58kb. Temos também que o tamanho de bloco 285kb apresentou maior mediana, mas esta mediana é próxima da mediana obtida para blocos de tamanho 568kb. Na Figura 4(b) temos o *throughput* (em transações por segundo) de cada carga para cada tamanho de bloco, onde cada curva corresponde a uma das cinco cargas.



**Figura 4. *Throughput* variando o tamanho do bloco**

A Tabela 5 fornece os resultados da análise de variância para o *throughput*, onde concluímos com significância de 10%, que a variação no tamanho dos blocos afeta o *throughput* ( $p\text{-value} \approx 0,08$ ). Ao contrário do tamanho de bloco, a variação nas cargas não afetou o *throughput* ( $p\text{-value} \approx 0,60$ ). Da mesma forma que na análise da latência, o método LSD de Fisher identificou diferença significativa no *throughput* médio apenas entre o tamanho de bloco 58kb e os outros dois tamanhos de bloco. Os *throughputs* médios para os tamanhos 58kb, 285kb e 585kb foram 43,91, 55,30 e 52,01, respectivamente. Usando significância de 10%, o valor mínimo do módulo da diferença entre as médias para considerarmos as médias distintas é 7,87. Então, para os três pares de tamanhos de bloco, temos  $|43,91 - 55,30| = 11,39 > 7,87$  (tamanhos de bloco 58kb e 285kb),  $|43,91 - 52,01| = 8,10 > 7,87$  (tamanhos de bloco 58kb e 585kb) e  $|55,30 - 52,01| =$

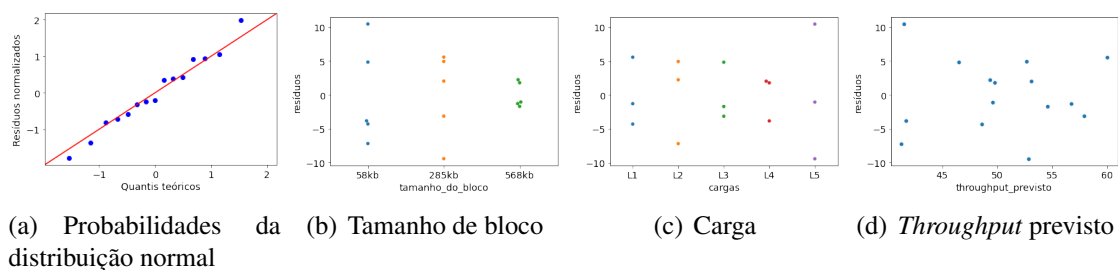


Fonte de variação	Soma quad.	Graus lib.	Média quad.	F	p-value
Carga	140.518707	4	35.129677	0.720016	<b>0.601806</b>
Tamanho do bloco	343.546253	2	171.773127	3.520655	<b>0.080023*</b>
Resíduos	390.320813	8	48.790102		

**Tabela 5. Tabela ANOVA para o *throughput***

$3,29 < 7,87$  (tamanhos de bloco 285kb e 585kb). Ou seja, a única diferença de *throughput* médio não significativa ocorre entre os tamanhos de bloco 285kb e 585kb.

A análise de resíduos para o *throughput* é apresentada na Figura 5. A Figura 5(a) permite concluir um bom ajuste dos resíduos para a distribuição normal. Novamente há uma menor variação dos resíduos para tamanho de bloco 568kb, conforme indica a Figura 5(b). Não identificamos padrão na distribuição dos resíduos entre as cargas na Figura 5(c). Ao contrário dos resíduos da latência, a Figura 5(d) não permite identificar um padrão nos resíduos do *throughput* em função do *throughput* previsto pela Equação (1).



**Figura 5. Análise dos resíduos para o *throughput***

#### 4.3. Discussões Gerais e Limitações da Pesquisa

Este trabalho consistiu em experimentos com as ferramentas Hyperledger Caliper e Explorer. Mesmo com as cargas de trabalho projetadas, entende-se que seria necessário cargas de trabalho maiores e em ambientes mais distribuídos, para se compreender melhor o comportamento das transações e blocos. Além disso, o volume de experimentos foi relativamente pequeno. Nesse caso, o tamanho e quantidade dos experimentos poderiam ser ampliados para aumentar a confiança nos resultados. A avaliação com quatro nós em uma nuvem pública é uma configuração não controlada, à exceção do tipo de máquinas virtuais selecionado, o que dificulta caracterizar a execução do Hyperledger e análise dos resultados. Um resultado mais interessante seria a comparação entre um ambiente controlado e um ambiente em nuvem pública, investigando os efeitos da instabilidade inserida pela nuvem pública. A quantidade de dados utilizada nos experimentos deste trabalho pode ser considerada pouca. Para que o efeito do tamanho da carga na latência e *throughput* fique mais evidente, o ideal seria realizar os experimentos coletando mais dados.

Este trabalho possui algumas limitações. Apesar de ter sido realizado um sorteio para as sequências de operações da carga de trabalho, deveria ter também ocorrido uma aleatorização de qual sequência da carga de trabalho seria executada em determinado horário, isso para minimizar problemas com a nuvem. Existem diversos parâmetros de configuração no Hyperledger, e cada um pode variar e impactar nos resultados. Um desses parâmetros é o *timeout*, que foi mantido fixo, e impactaria no tamanho dos blocos gerados. A proporção de operações da carga de trabalho também é um fator de impacto nos resultados, já que apenas transações de escrita são efetivamente armazenadas na blockchain.

Assim, como este trabalho variou apenas a quantidade de transações do bloco, ainda há muitas situações a serem avaliadas. Além disso, utilizou-se apenas o Hyperledger Fabric nos experimentos, o que não permite generalizar para outras blockchains.

## 5. Considerações Finais

Esta pesquisa descreveu uma análise de desempenho no Hyperledger Fabric, avaliando o impacto do tamanho dos blocos quando a blockchain é configurada com blocos de quantidade de transações variadas. Além disso, ocorreu uma análise de variância que permitiu concluir com significância 10% que (i) o tamanho do bloco afeta a latência e o *throughput*, e as variações nas cargas não afetam nenhuma destas métricas; e (ii) existe diferença significativa na latência média e no *throughput* médio entre o tamanho de bloco 58kb e os outros tamanhos de bloco testados (285kb e 568kb). Como trabalhos futuros pretende-se estudar melhor o comportamento do ambiente diante de cargas de trabalho de variadas proporções de leitura e escrita, mais adequadas às cargas de aplicações reais. Além disso, a variação nos tempos de criação dos blocos também deve influenciar no tamanho dos blocos, assim como também a variação das quantidades máximas de transações por blocos. Todos esses itens são oportunidades de pesquisa de simulação em blockchain.

## Referências

- Coutinho, E., Bezerra, W., and Maia, D. (2021). Uma análise inicial sobre a aplicação de blockchain na sociedade. In *Anais do II Workshop sobre as Implicações da Computação na Sociedade*, pages 45–56, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Dabbagh, M., Kakavand, M., Tahir, M., and Amphawan, A. (2020). Performance analysis of blockchain platforms: Empirical evaluation of hyperledger fabric and ethereum. In *2020 IEEE 2nd International Conference on Artificial Intelligence in Engineering and Technology (IICAET)*, pages 1–6.
- 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, SIGMOD '17*, page 1085–1100.
- Fisher, R. A. (1992). Statistical methods for research workers. In *Breakthroughs in statistics*, pages 66–70. Springer.
- Rodrigues, C. and Rocha, V. (2021). Towards blockchain for suitable efficiency and data integrity of iot ecosystem transactions. *IEEE Latin America Transactions*, 19(7).
- Shalaby, S., Abdellatif, A. A., Al-Ali, A., Mohamed, A., Erbad, A., and Guizani, M. (2020). Performance evaluation of hyperledger fabric. In *2020 IEEE International Conference on Informatics, IoT, and Enabling Technologies (ICIoT)*, pages 608–613.
- Thakkar, P., Nathan, S., and Viswanathan, B. (2018). Performance benchmarking and optimizing hyperledger fabric blockchain platform. In *2018 IEEE 26th International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS)*, pages 264–276.
- Zeng, J., Zhang, J., and Liu, Y. (2019). Blockchain based smart park: Cleaning management. In *Proceedings of the 2019 2nd International Conference on Blockchain Technology and Applications, ICBTA 2019*, page 53–58.