



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

# **Análise de Desempenho do Mobile Blockchain em Arquitetura de Computação de Borda Móvel**

Dissertação de Mestrado

Thiago José Sandes Melo

São Cristóvão – Sergipe

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

# **Análise de Desempenho do Mobile Blockchain em Arquitetura de Computação de Borda Móvel**

Dissertação de Mestrado

Thiago José Sandes Melo



São Cristóvão – Sergipe

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Thiago José Sandes Melo

**Análise de Desempenho do Mobile Blockchain em  
Arquitetura de Computação de Borda Móvel**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Sergipe como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciência da Computação.

Orientador(a): Admilson de Ribamar Lima Ribeiro  
Coorientador(a): Edward David Moreno Ordoñez

São Cristóvão – Sergipe

2022

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Melo, Thiago José Sandes  
M528a Análise de desempenho do mobile blockchain em arquitetura de  
computação de borda móvel / Thiago José Sandes Melo ;  
orientador Admilson de Ribamar Lima Ribeiro. - São Cristóvão,  
2022.  
81 f.; il.

Dissertação (mestrado em Ciência da Computação) –  
Universidade Federal de Sergipe, 2022.

1. Aplicativos móveis. 2. Blockchains (Base de dados). 3.  
Smartphones. I. Ribeiro, Admilson de Ribamar Lima orient.  
II. Título.

CDU 004

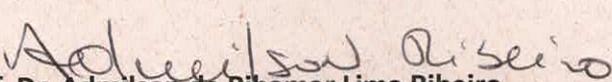


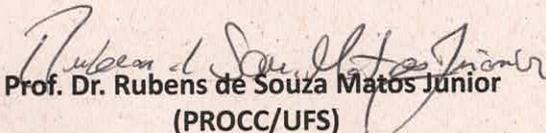
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Ata da Sessão Solene de Defesa da Dissertação do  
Curso de Mestrado em Ciência da Computação-UFS.  
Candidato: Thiago José Sandes Melo

Em 26 dias do mês de outubro do ano de dois mil e vinte dois, com início às 09h00min, realizou-se na Sala de Seminários do PROCC da Universidade Federal de Sergipe, na Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, a Sessão Pública de Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato **Thiago José Sandes Melo**, que desenvolveu o trabalho intitulado: "*Análise de Desempenho do Mobile Blockchain em Arquitetura de Computação de Borda Móvel*", sob a orientação do Prof. Dr. **Admilson de Ribamar Lima Ribeiro**. A Sessão foi presidida pelo Prof. Dr. **Admilson de Ribamar Lima Ribeiro** (PROCC/UFS), que após a apresentação da dissertação passou a palavra aos outros membros da Banca Examinadora, Prof. Dr. **João Marco Cardoso da Silva** (UMINHO) e, em seguida, o Prof. Dr. **Rubens de Souza Matos Junior** (PROCC/UFS) e o Prof. Dr. **Edward David Moreno Ordonez** (PROCC/UFS). Após as discussões, a Banca Examinadora reuniu-se e considerou o mestrando (a ) \_\_\_\_\_ "*(aprovado/reprovado)*". Atendidas as exigências da Instrução Normativa 05/2019/PROCC, do Regimento Interno do PROCC (Resolução 67/2014/CONEPE), e da Resolução nº 04/2021/CONEPE que regulamentam a Apresentação e Defesa de Dissertação, e nada mais havendo a tratar, a Banca Examinadora elaborou esta Ata que será assinada pelos seus membros e pelo mestrando.

Cidade Universitária "Prof. José Aloísio de Campos", 26 de outubro de 2022.

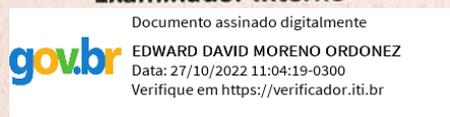
  
Prof. Dr. **Admilson de Ribamar Lima Ribeiro**  
(PROCC/UFS)  
Presidente

  
Prof. Dr. **Rubens de Souza Matos Junior**  
(PROCC/UFS)  
Examinador Interno

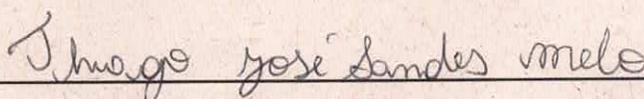
Assinado por: **JOÃO MARCO CARDOSO DA SILVA**  
Num. de Identificação: 32025763  
Data: 2022.10.27 10:21:09 +0100

Prof. Dr. **João Marco Cardoso da Silva**  
(UMINHO)  
Examinador Externo

Prof. Dr. **Edward David Moreno Ordonez**  
(PROCC/UFS)  
Examinador Interno



**Thiago José Sandes Melo**  
Candidato



*Este trabalho é dedicado à Deus Pai.*

# Resumo

O blockchain é um sistema que permite rastrear o envio e recebimento de alguns tipos de informação pela internet. São pedaços de código gerados online que carregam informações conectadas – como blocos de dados que formam uma corrente. À medida que a tecnologia blockchain continua a evoluir, ela tem oportunidades cada vez maiores de ajudar as aplicações para dispositivos móveis com sua rede segura. Isso é interessante para a segurança móvel, visto que tornou-se cada vez mais importante devido ao crescimento do uso dos aplicativos móveis para transações financeiras. Neste trabalho, vamos prover uma visão geral do estado corrente da pesquisa relacionada à avaliação de desempenho e aplicação de mobile blockchain, investigando problemas encontrados, benefícios e fraquezas, escopo alvo das iniciativas e tecnologias empregadas. Ademais, é realizado um estudo de benchmark do blockchain em dispositivos móveis, ilustrando seu processo com o auxílio da arquitetura que permite a melhor performance do blockchain em dispositivos móveis: com o uso da computação de borda. Com esse benchmark, no que se refere ao desempenho conseguido, é possível comparar a diferença do uso do blockchain em uma arquitetura de computação de borda móvel e sem essa arquitetura, validando que adicionar computação de borda ao processo de mineração do mobile blockchain aumenta sua eficiência. Também é ilustrada uma aplicação do mobile blockchain em um sistema simples de votação eletrônica, colocando em evidência a implementação do blockchain em dispositivos móveis.

**Palavras-chave:** Mobile, Blockchain, Application, Performance, Analysis

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Diagrama blockchain . . . . .	16
Figura 2 – Rede blockchain com nós móveis . . . . .	19
Figura 3 – Arquiteturas de computação de borda . . . . .	20
Figura 4 – Artigos por base bibliográfica . . . . .	23
Figura 5 – Número de artigos por ano para estudo de Mobile Blockchain . . . . .	24
Figura 6 – Arquiteturas usadas . . . . .	36
Figura 7 – Arquitetura de computação de borda móvel . . . . .	37
Figura 8 – Xiaomi Redmi 7 . . . . .	38
Figura 9 – Workstation Avell 062 MUV . . . . .	39
Figura 10 – Android Studio . . . . .	39
Figura 11 – Android Studio . . . . .	40
Figura 12 – XCode . . . . .	40
Figura 13 – XCode . . . . .	41
Figura 14 – Heroku . . . . .	42
Figura 15 – Back4App . . . . .	42
Figura 16 – Firebase . . . . .	43
Figura 17 – Interface do nó de borda do Back4App em execução . . . . .	44
Figura 18 – Interface do nó de borda do Firebase em execução . . . . .	44
Figura 19 – Dificuldade no código blockchain . . . . .	46
Figura 20 – Cenário de arquitetura móvel sem computação de borda . . . . .	47
Figura 21 – Número de transações por tempo em segundos com dificuldade 2 - Xiaomi Redmi 7 . . . . .	48
Figura 22 – Dificuldade 2 - consumo da bateria com 10 transações . . . . .	49
Figura 23 – Dificuldade 2 - consumo da bateria com 50 transações . . . . .	49
Figura 24 – Dificuldade 2 - consumo da bateria com 100 transações . . . . .	50
Figura 25 – Dificuldade 2 - consumo da bateria com 200 transações . . . . .	50
Figura 26 – Número de transações por tempo em segundos com dificuldade 3 - Xiaomi Redmi 7 . . . . .	51
Figura 27 – Dificuldade 3 - consumo da bateria com 10 transações . . . . .	52
Figura 28 – Dificuldade 3 - consumo da bateria com 50 transações . . . . .	52
Figura 29 – Dificuldade 3 - consumo da bateria com 100 transações . . . . .	53
Figura 30 – Dificuldade 3 - consumo da bateria com 200 transações . . . . .	53
Figura 31 – Número de transações por tempo em segundos com dificuldade 4 - Xiaomi Redmi 7 . . . . .	54
Figura 32 – Dificuldade 4 - consumo da bateria com 10 transações . . . . .	55
Figura 33 – Dificuldade 4 - consumo da bateria com 50 transações . . . . .	55

Figura 34 – Dificuldade 4 - consumo da bateria com 100 transações . . . . .	56
Figura 35 – Dificuldade 4 - consumo da bateria com 200 transações . . . . .	56
Figura 36 – Número de transações por tempo em segundos com dificuldade 2, 3 e 4 - Pixel 3A . . . . .	57
Figura 37 – Número de transações por tempo em segundos com dificuldade 2, 3 e 4 - Iphone 12 . . . . .	58
Figura 38 – Cenário de arquitetura de computação de borda móvel . . . . .	58
Figura 39 – Uso dos nós de borda - consumo base da bateria do device físico . . . . .	59
Figura 40 – Número de transações por tempo em segundos com dificuldade 2, 3 e 4 - Heroku	60
Figura 41 – Número de transações por tempo em segundos com dificuldade 2, 3 e 4 - Back4App . . . . .	61
Figura 42 – Número de transações por tempo em segundos com dificuldade 2, 3 e 4 - Firebase . . . . .	62
Figura 43 – Comparativo entre arquiteturas - número de transações por tempo em segundos com dificuldade 2 . . . . .	63
Figura 44 – Comparativo entre arquiteturas - número de transações por tempo em segundos com dificuldade 3 . . . . .	64
Figura 45 – Comparativo entre arquiteturas - número de transações por tempo em segundos com dificuldade 4 . . . . .	64
Figura 46 – Comparativo entre arquiteturas - Consumo de CPU com dificuldade 2 . . . . .	65
Figura 47 – Comparativo entre arquiteturas - Consumo de memória com dificuldade 2 . . . . .	65
Figura 48 – Comparativo entre arquiteturas - Consumo de CPU com dificuldade 3 . . . . .	66
Figura 49 – Comparativo entre arquiteturas - Consumo de memória com dificuldade 3 . . . . .	66
Figura 50 – Comparativo entre arquiteturas - Consumo de CPU com dificuldade 4 . . . . .	67
Figura 51 – Comparativo entre arquiteturas - Consumo de memória com dificuldade 4 . . . . .	67
Figura 52 – Dificuldade 4 - consumo da bateria com 200 transações sem nó de borda . . . . .	68
Figura 53 – Código do bloco da rede blockchain em Javascript . . . . .	70
Figura 54 – Código da rede blockchain em Javascript . . . . .	71
Figura 55 – Protótipo de sistema de votação eletrônica utilizando mobile blockchain . . . . .	71
Figura 56 – Blocos minerados computados após votação . . . . .	72
Figura 57 – Quantidade de votos computados e sequência de blocos da rede blockchain . . . . .	72
Figura 58 – Comparativo de consumo de CPU e memória RAM (ambos em %) do sistema de votação com e sem uso de blockchain . . . . .	74

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Relação entre quantidade de artigos e critério de qualidade . . . . .	25
Tabela 2 – Trabalhos razoavelmente relacionados por tópico de pesquisa . . . . .	30
Tabela 3 – Trabalhos muito relacionados por tópico de pesquisa . . . . .	31
Tabela 4 – Impacto do número de transações - dificuldade 2 - Xiaomi Redmi 7 . . . . .	48
Tabela 5 – Impacto do número de transações - dificuldade 3 - Xiaomi Redmi 7 . . . . .	51
Tabela 6 – Impacto do número de transações - dificuldade 4 - Xiaomi Redmi 7 . . . . .	54
Tabela 7 – Impacto do número de transações - dificuldade 2, 3 e 4 - Pixel 3A . . . . .	57
Tabela 8 – Impacto do número de transações - dificuldade 2, 3 e 4 - iPhone 12 . . . . .	57
Tabela 9 – Xiaomi Redmi 7 - Uso de CPU e memória em cenário de arquitetura de computação de borda móvel . . . . .	59
Tabela 10 – Impacto do número de transações - dificuldade 2, 3 e 4 - Heroku . . . . .	60
Tabela 11 – Impacto do número de transações - dificuldade 2, 3 e 4 - Back4App . . . . .	61
Tabela 12 – Impacto do número de transações - dificuldade 2, 3 e 4 - Firebase . . . . .	62
Tabela 13 – Consumo de CPU e de memória do sistema de votação com rede blockchain	73
Tabela 14 – Consumo de CPU e de memória do sistema de votação sem uso do blockchain	73
Tabela 15 – Consumo de CPU e de memória do sistema de votação com rede blockchain - 10, 20 e 40 candidatos . . . . .	74

# Lista de abreviaturas e siglas

CCS	Cloud Computing Server
DCOMP	Departamento de Computação
DRL	Deep Reinforcement Learning
FIFO	First In, First Out
IoT	Internet of Things
MEC	Mobile Edge Computing
MES	Mobile Edge Server
MPI	Master Patient Identifier
MDP	Markov Decision Process
PoW	Proof of Work
SBS	Small-cell Base Station
TI	Tecnologia da Informação
UFS	Universidade Federal de Sergipe

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>11</b>
1.1	Motivação	11
1.2	Justificativa	12
1.3	Objetivos	12
1.3.1	Objetivos Gerais	12
1.3.2	Objetivos Específicos	13
1.4	Metodologia	13
1.5	Estrutura do documento	13
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>15</b>
2.1	Segurança da informação	15
2.2	Blockchain	16
2.2.1	Dificuldade	17
2.2.2	Prova de trabalho	17
2.2.3	Caso de uso na área da saúde	18
2.2.4	Caso de uso em Supply Chain	18
2.2.5	Caso de uso no mercado financeiro	18
2.3	Mobile Blockchain	19
2.4	Edge Computing	20
<b>3</b>	<b>Trabalhos Relacionados</b>	<b>22</b>
3.1	Mapeamento Sistemático	22
3.1.1	Planejamento do mapeamento	22
3.1.2	Condução do mapeamento	23
3.1.2.1	Aplicação do critério de qualidade	24
3.2	Estado da arte em Mobile Blockchain	25
3.2.1	Edge computing	25
3.2.2	Deep learning	27
3.2.3	Cloud Computing	28
3.2.4	Otimização	28
3.2.5	Aplicações	29
3.3	Análise dos resultados e correlações	29
3.3.1	Trabalhos razoavelmente relacionados por tópico de pesquisa	29
3.3.2	Trabalhos muito relacionados por tópico de pesquisa	30
3.4	Questões de pesquisa	31
3.4.1	Quando e onde os estudos foram publicados?	31

3.4.2	Do ponto de vista de aplicação do mobile blockchain, que aspectos têm sido enfocados? . . . . .	31
3.4.3	Do ponto de vista de desempenho do mobile blockchain, que tópicos têm sido enfocados? . . . . .	32
3.4.4	Que tipos de pesquisa têm sido feitas? . . . . .	32
3.4.5	Que problemas têm sido apontados pelos pesquisadores no que tange ao Desempenho e Aplicação do mobile blockchain? . . . . .	32
3.4.6	Quais os propósitos de se empregar o blockchain em dispositivos móveis? . . . . .	32
3.4.7	Quais as principais conclusões reportadas relativas à aplicação do mobile blockchain? . . . . .	33
3.5	Lacunas e tendências de pesquisa em mobile blockchain . . . . .	33
<b>4</b>	<b>Metodologia de Avaliação de Desempenho . . . . .</b>	<b>35</b>
4.1	Benchmark . . . . .	35
4.2	Arquiteturas . . . . .	36
4.3	Dispositivos, softwares e tecnologias usadas . . . . .	38
4.3.1	Dispositivo físico - Xiaomi Redmi 7 . . . . .	38
4.3.2	Máquina AVELL A62 MUV . . . . .	38
4.3.3	Android Stúdio . . . . .	39
4.3.4	Dispositivo Android Emulado no AVD Manager - Pixel 3A . . . . .	40
4.3.5	XCode . . . . .	40
4.3.6	Dispositivo IOS Simulado - iPhone 12 com IOS 14.4 . . . . .	41
4.3.7	Heroku . . . . .	41
4.3.8	Back4App . . . . .	42
4.3.9	Firebase . . . . .	42
4.4	Carga de Trabalho . . . . .	43
4.5	Métricas . . . . .	45
4.5.1	Sobre a métrica dificuldade no benchmark . . . . .	45
<b>5</b>	<b>Análise dos resultados . . . . .</b>	<b>47</b>
5.1	Cenário de arquitetura móvel sem computação de borda . . . . .	47
5.1.1	Xiaomi Redmi 7 . . . . .	48
5.1.1.1	Dificuldade 2 . . . . .	48
5.1.1.2	Dificuldade 3 . . . . .	51
5.1.1.3	Dificuldade 4 . . . . .	53
5.1.2	Pixel 3A . . . . .	56
5.1.3	iPhone 12 . . . . .	57
5.2	Cenário de arquitetura de computação de borda móvel . . . . .	58
5.2.1	Heroku . . . . .	60
5.2.2	Back4App . . . . .	61

5.2.3	Firestore	61
5.3	Comparativo de performance entre as duas arquiteturas	62
5.3.1	Tempo e Número de Transações	62
5.3.1.1	Dificuldade 2	63
5.3.1.2	Dificuldade 3	64
5.3.1.3	Dificuldade 4	64
5.3.2	Consumo de CPU e consumo de memória	65
5.3.3	Consumo energia - bateria	67
5.3.4	Conclusão	68
<b>6</b>	<b>Aplicação do mobile blockchain em sistema de votação eletrônica</b>	<b>69</b>
6.1	Importância de um sistema de votação digital usando plataforma móvel	69
6.2	Desenvolvimento e testes do protótipo	70
6.2.1	Estatísticas de uso	73
6.2.1.1	Consumo de CPU e de memória do sistema de votação com o uso do blockchain	73
6.2.1.2	Consumo de CPU e de memória do sistema de votação sem o uso do blockchain	73
6.2.1.3	Comparação entre uso do blockchain e seu não uso no sistema de votação	74
6.2.1.4	Comportamento do sistema de votação da rede blockchain de acordo com o aumento de candidatos	74
<b>7</b>	<b>Conclusão</b>	<b>75</b>
7.1	Contribuições	75
7.2	Trabalhos Futuros	76
	<b>Referências</b>	<b>77</b>

# 1

## Introdução

Segundo [Moura, Brauner e Muniz \(2020\)](#), a blockchain é uma tecnologia com potencial de transformar a maneira como o mercado e os governos operam. Levando em consideração suas características de confiabilidade, imutabilidade, autenticidade e auditabilidade, por meio da geração de dados criptografados que passam por uma rede de validação horizontal ([HAN, 2017](#)), a tecnologia tem estimulado uma variedade de pesquisas que propõem sua utilização em diversos campos do conhecimento incluindo seu uso em plataformas móveis.

### 1.1 Motivação

À medida que a tecnologia blockchain continua a evoluir, ela tem oportunidades cada vez maiores de ajudar as aplicações para dispositivos móveis com sua rede segura. Nesse sentido, isso é interessante para a segurança móvel, visto que tornou-se cada vez mais importante devido ao crescimento do uso dos aplicativos móveis para transações financeiras ([AURÉLIO; OLIVEIRA; ALVES, 2018](#)).

Mediante esse cenário, embora o blockchain tenha sido amplamente adotado em muitas aplicações (por exemplo, finanças, saúde e logística), sua aplicação em serviços móveis ainda é limitada. Isso se deve ao fato de que os usuários do blockchain precisam resolver enigmas de prova de trabalho predefinidos para adicionar novos dados (ou seja, um bloco) ao blockchain. Resolver a prova de trabalho, no entanto, consome recursos substanciais em termos de tempo e energia da CPU, o que não é adequado para dispositivos móveis com recursos limitados ([XIONG et al., 2018b](#)).

Dentre as abordagens existentes para resolver esse problema de desempenho relatado, no mobile blockchain, uma muito utilizada atualmente é a Edge Computing (computação de borda). Isso se deve porque, para um usuário móvel, não é realista executar continuamente um programa tão difícil computacionalmente que requer um grande volume de energia e tempo. Devido às

características marcantes da computação de ponta: baixa latência, mobilidade e ampla distribuição geográfica, considera-se transferir as tarefas de mineração para os Edge Servers(servidores de ponta) (JIAO et al., 2018a).

## 1.2 Justificativa

O uso do blockchain poderá ser uma boa solução para parte dos problemas hoje encontrados nos processos de negócio, mas certamente não será a única opção futura no contexto das transações entre pessoas e empresas.

Em particular, a Microsoft tem parceria com a ConsenSys, uma empresa especializada da tecnologia Ethereum, e juntas trabalham em um projeto para uma “função de contrato inteligente” que executa transações automaticamente quando certas condições são atendidas (YOO, 2017). Ethereum é uma plataforma de blockchain otimizada para contratos inteligentes. Existem exemplos de casos de uso em distribuição de música, relatório de casamento e faturamento de rede inteligente com base na plataforma Ethereum na área de contrato inteligente (ZÍLE; STRAZDIÑA, 2018).

Dessa forma, pode-se afirmar que a viabilidade de expansão do blockchain em larga escala depende da maturidade e das experiências de uso das plataformas tecnológicas, o que muito provavelmente ocorrerá com o envolvimento de empresas como a IBM e a Microsoft com o desenvolvimento das mesmas. Atrelado a isso, como já citado anteriormente, o crescimento do uso da plataforma móvel é um bom indicativo de que a tecnologia Blockchain tende a crescer nela.

Não obstante, A Linux Foundation, junto com a IBM, liderou o projeto colaborativo “Hyperledger project”. A IBM trabalhou na padronização da tecnologia blockchain global, participando do “projeto Hyperledger” envolvendo 48 empresas, incluindo Intel e Wells Fargo. A IBM também tem investido nos mercados financeiros dos EUA, Europa e Ásia e serviços relacionados, estabelecendo o laboratório IBM Blockchain. De acordo com esta situação, o que se nota atualmente é o blockchain como serviço sendo usado não apenas nas finanças, mas também em várias vertentes, como transações legais, direitos autorais e identificação (YOO, 2017).

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivos Gerais

O principal objetivo deste trabalho é contribuir para uma melhor performance do mobile blockchain. Isso deve ser possível, primeiramente, por meio de uma análise comparativa das tecnologias que possibilitam o blockchain em dispositivos móveis. Posteriormente, com essa análise, completar um estudo de benchmark do mobile blockchain, deixando mais claro o processo

por trás da aplicação do blockchain em dispositivos móveis.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo principal, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Elucidar fluxo processual do blockchain, da sua aplicação em dispositivos móveis e do seu uso com a computação de borda;
- Elucidar quais são as tecnologias que possibilitam a aplicação do blockchain em dispositivos móveis por meio de um mapeamento sistemático;
- Verificar impacto de usar mobile blockchain em uma arquitetura de computação de borda.

## 1.4 Metodologia

Este trabalho de pesquisa está caracterizado como um estudo que contém objetivos exploratórios e descritivos, com abordagem qualitativa de caráter bibliográfico e analítico, composto por 3 partes.

Elucidar o fluxo processual do blockchain, do mobile blockchain e do seu uso com a computação de borda.

Mapeamento sistemático da literatura. Nesse ponto é analisado o estado da arte do blockchain, do mobile blockchain e das tecnologias que possibilitam sua aplicação. Nessa parte são mostradas as evidências do uso da computação de borda em problemas blockchain que ratificam o porquê do seu uso nesse trabalho.

Estudo de benchmark a respeito do desempenho e da aplicação do blockchain em dispositivos móveis. Isso deve ser possível com a análise de desempenho do mobile blockchain em um cenário de carteira virtual (wallet), onde há o processo de mineração em dispositivo físico real, emulado e com o auxílio da computação de borda.

## 1.5 Estrutura do documento

Para facilitar a navegação e melhor entendimento, este documento está estruturado em 6 capítulos, que são:

- Capítulo 1 - Introdução: apresenta as definições preliminares da literatura, problemática, argumentações e hipóteses sobre o tema, além dos objetivos;
- Capítulo 2 - Fundamentação teórica: expõe a contextualização teórica, de acordo com o mapeamento sistemático relacionada ao tema proposto;

- Capítulo 3 - Trabalhos relacionados: demonstra os trabalhos correlatos de acordo com o mapeamento sistemático, bem como são apresentados os resultados desse mapeamento e a síntese do processo de sumarização dos trabalhos estudados;
- Capítulo 4 - Metodologia de Avaliação de Desempenho: apresenta a introdução ao experimento do mobile blockchain em um cenário de carteira virtual (wallet) e arquiteturas com e sem o uso da computação de borda. Nesse ponto, levanta-se a questão para validar se o uso de uma arquitetura de computação de borda móvel melhora o processo de mineração envolvido ou apenas aumenta complexidade desnecessariamente;
- Capítulo 5 - Análise dos resultados: apresenta os resultados da análise de desempenho do mobile blockchain com e sem o uso de computação de borda no experimento com a carteira virtual a fim de validar que a computação de borda melhora o desempenho do processo de mineração envolvido.
- Capítulo 6 - Conclusão: conclusão do trabalho, dificuldades e limitações, trabalhos futuros e publicações.

# 2

## Fundamentação Teórica

Neste capítulo são levantados conceitos, arquiteturas, características e paradigmas a respeito dos temas abordados. Dessa maneira, foi realizada uma consulta à literatura específica ao tema. Assim, foi possível modelar o conhecimento inicial necessário para este trabalho no que diz respeito ao blockchain, segurança da informação, mobile blockchain e edge computing, um auxiliador do blockchain nos dispositivos móveis.

### 2.1 Segurança da informação

Segundo [Lyra \(2015\)](#), a segurança da informação é caracterizada pela aplicação adequada de dispositivos de proteção sobre um ativo ou um conjunto de ativos visando preservar o valor que este possui para as organizações. A aplicação destas proteções busca preservar a confidencialidade, a integridade e a disponibilidade (CID), não estando restritos somente a sistemas ou aplicativos, mas também informações armazenadas ou veiculadas em diversos meios além do eletrônico ou em papel.

Nesse contexto, a confidencialidade é: “Garantia de que o acesso à informação é restrito aos seus usuários legítimos.” ([BEAL, 2000](#)). Ou seja, seu acesso é permitido apenas a determinados usuários. No que se refere à Integridade: “Toda informação deve ser mantida na mesma condição em que foi disponibilizada pelo seu proprietário, visando protegê-las contra alterações indevidas, intencionais ou acidentais” ([INFORMAÇÃO, 2003](#)). Ou seja, informação não adulterada. Por fim, a disponibilidade: “Garantia de que a informação e os ativos associados estejam disponíveis para os usuários legítimos de forma oportuna” ([BEAL, 2000](#)). Ou seja, independente da finalidade, a informação deve estar disponível ao usuário quando necessária.

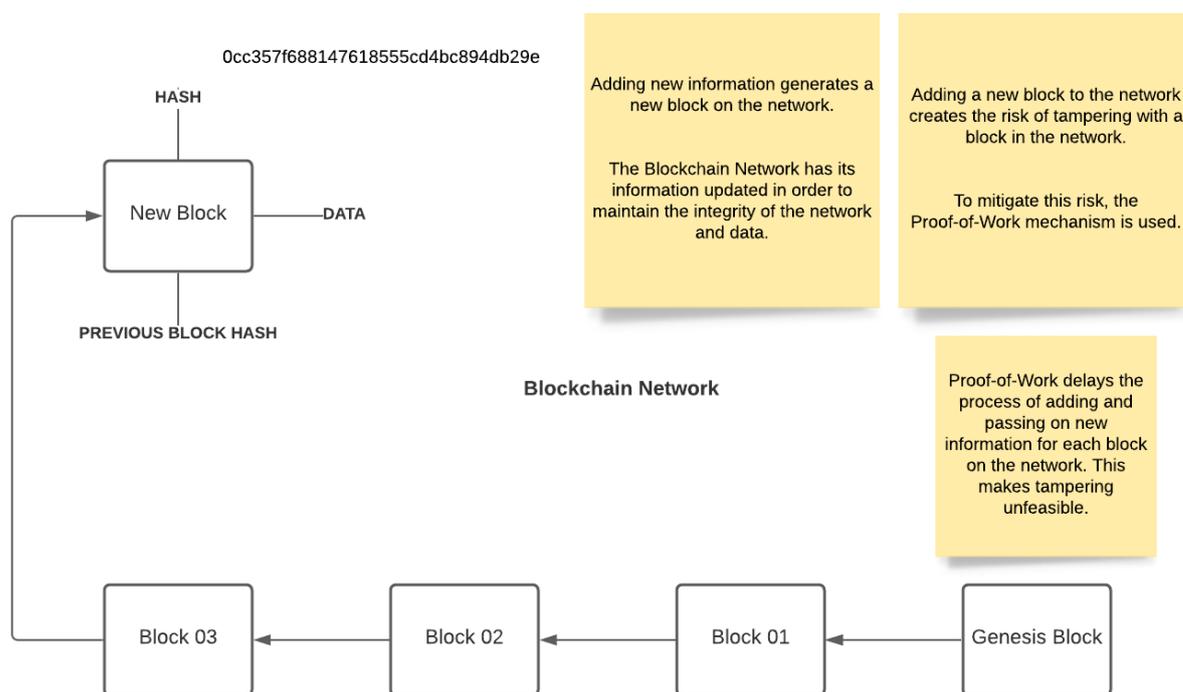
Dessa forma, o blockchain, como será exposto mais adiante, é uma solução que dispõe de um ferramental útil para a segurança da informação em diferentes casos de uso.

## 2.2 Blockchain

A tecnologia conhecida como blockchain foi revelada pela primeira vez por Satoshi Nakamoto em seu artigo “Bitcoin: Um Sistema de Caixa Eletrônico Peer-to-Peer”<sup>1</sup>, que estabeleceu a base matemática para a criptomoeda Bitcoin. Embora este tenha sido um artigo inovador, ele nunca foi realmente submetido a um periódico tradicional com revisão por pares, e a verdadeira identidade do autor é desconhecida. A tecnologia blockchain não está apenas na base de todas as criptomoedas, mas encontrou ampla aplicação no setor financeiro mais tradicional. Também abriu a porta para novas aplicações, como contratos inteligentes (PIERRO, 2017).

Além disso, a tecnologia blockchain está atraindo muita atenção e desencadeando vários projetos em diferentes setores. No entanto, o setor financeiro é visto como um usuário primário do conceito de blockchain. Isso não é só devido ao fato de que a aplicação mais conhecida desta tecnologia é a criptomoeda Bitcoin, mas também é impulsionado por ineficiências de processo substanciais e uma enorme questão de base de custo especificamente nesta indústria (NOFER et al., 2017).

Figura 1 – Diagrama blockchain



Fonte: Próprio autor.

Algumas informações interessantes são ilustradas na figura 1. Uma rede blockchain começa com o bloco chamado "Bloco Gênesis". A partir desse bloco, como numa lista de

<sup>1</sup> <<https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>>

ponteiros em que o bloco anterior aponta para o próximo e guarda em si um identificador próprio, novos blocos vão sendo inseridos na rede a medida em que novas transações são feitas. Esse identificador é um hash. Dessa forma, cada bloco da rede possui dados guardados, o hash do bloco anterior e o seu próprio hash identificador.

### 2.2.1 Dificuldade

O conceito de dificuldade (difficulty) é a medida que determina quão difícil é para minerar um bloco dada uma determinada criptomoeda. Uma dificuldade alta significa que vai ser necessário um poder computacional adicional para verificar as transações que entram na rede blockchain. Quão mais alta for a dificuldade, melhor é a segurança da rede blockchain, visto que será necessário mais poder computacional para invadir a rede. (FRANKENFIELD, 2022)

Nesse sentido, a dificuldade é ajustada a cada 2016 blocos. As blockchains ajustam a dificuldade automaticamente. Por exemplo, a dificuldade do Bitcoin é ajustada a cada 2.016 blocos ou a cada 2 semanas. A dificuldade do Ethereum, por outro lado, é ajustada a cada bloco, ou aproximadamente 15 segundos. (TAPSCOTT, 2018)

Para melhor entendimento, em termos mais técnicos, se a quantidade de blocos na rede blockchain é menor do que 2016, o valor da dificuldade diminui. Se for maior, o valor aumenta. Nesse contexto, é a dificuldade de encontrar um hash abaixo de um determinado alvo(bloco). Na rede blockchain, é a dificuldade de verificar uma transação de um bloco que entrou na rede blockchain. Então, logicamente, quanto mais blocos houver na rede, maior vai ser a dificuldade dela e, assim, mais segura se torna devido ao maior poder computacional que será necessário para poder burlar um determinado bloco dentro da rede blockchain. Em nível informativo, a dificuldade do Bitcoin no momento em que este trabalho foi realizado (05/2022) é de 29.79 trilhões. (COINWARZ, 2022)

### 2.2.2 Prova de trabalho

O conceito de Prova de Trabalho(Proof of Work) é definido como um algoritmo de consenso no qual é caro e demorado produzir uma parte dos dados, mas é fácil para outras pessoas verificarem se os dados estão corretos. O Bitcoin, principal criptomoeda do mercado, utiliza o sistema de Proof of Work Hashcash. (LOREDO, 2016)

Para que um bloco seja aceito pela rede, os mineradores precisam concluir uma prova de trabalho para verificar todas as transações no bloco. A dificuldade deste trabalho nem sempre é a mesma, ela continua se ajustando para que novos blocos possam ser gerados a cada 10 minutos. Há uma probabilidade muito baixa de geração bem-sucedida, portanto, é imprevisível qual funcionário da rede produzirá o próximo bloco. (BASTIANI, 2020)

### 2.2.3 Caso de uso na área da saúde

A promessa fundamental do blockchain é a arquitetura de Tecnologia da Informação (TI) subjacente e sua cadeia "inquebrável" de entradas de dados que permitem transações abertas e seguras. O banco de dados descentralizado e distribuído de um blockchain que contém dados permite um registro auditável e distribuído que permite que todos vejam todas as transações. Os atributos de código aberto do blockchain tornam a tecnologia um ajuste natural para os requisitos associados às complexidades dos sistemas carregados de transações associados à tecnologia da informação em saúde nos setores público e privado.

Nesse sentido, blockchain tem potencial para melhorar a tecnologia usada em sistemas de saúde de várias maneiras inovadoras. Alguns desses exemplos incluem um Master Patient Identifier (MPI), adjudicação automática autônoma e interoperabilidade. Os MPIs oferecem um identificador de pessoa única que pode acompanhar o paciente em várias situações, permitindo uma entrega de dados da sua saúde mais contínua e escalonável em todo o continuum de prestadores de cuidados (bem como possivelmente além dos cuidados de saúde onde os dados também seriam relevantes) (RANDALL; GOEL; ABUJAMRA, 2017).

### 2.2.4 Caso de uso em Supply Chain

As cadeias de suprimentos modernas são inerentemente complexas, compreendendo entidades de vários escalões geograficamente desarticuladas que competem para atender aos consumidores. A globalização, as diversas políticas regulatórias e o comportamento cultural e humano variado nas redes da cadeia de suprimentos tornam quase impossível avaliar as informações e gerenciar o risco nesta rede intrincada (SARPONG, 2014). Transações ineficientes, fraude, furto e mal execução dos processos das cadeias de suprimentos leva a uma maior escassez de confiança e, portanto, à necessidade de melhor compartilhamento e verificação de informações.

As cadeias de suprimentos atuais, também, dependem fortemente de sistemas de gerenciamento de informações centralizados, às vezes díspares e autônomos, que estão dentro das organizações; por exemplo, sistemas de planejamento de recursos empresariais, que tem suas próprias armadilhas, fornecem entidades de cadeia que exigem confiança significativa para contar com uma única organização ou corretor para armazenar seus dados confidenciais e valiosos. Falha de ponto único é outra desvantagem dos sistemas de informação centralizados, o que deixa todo o sistema vulnerável a erro, hacking, corrupção ou ataque (SABERI et al., 2019).

### 2.2.5 Caso de uso no mercado financeiro

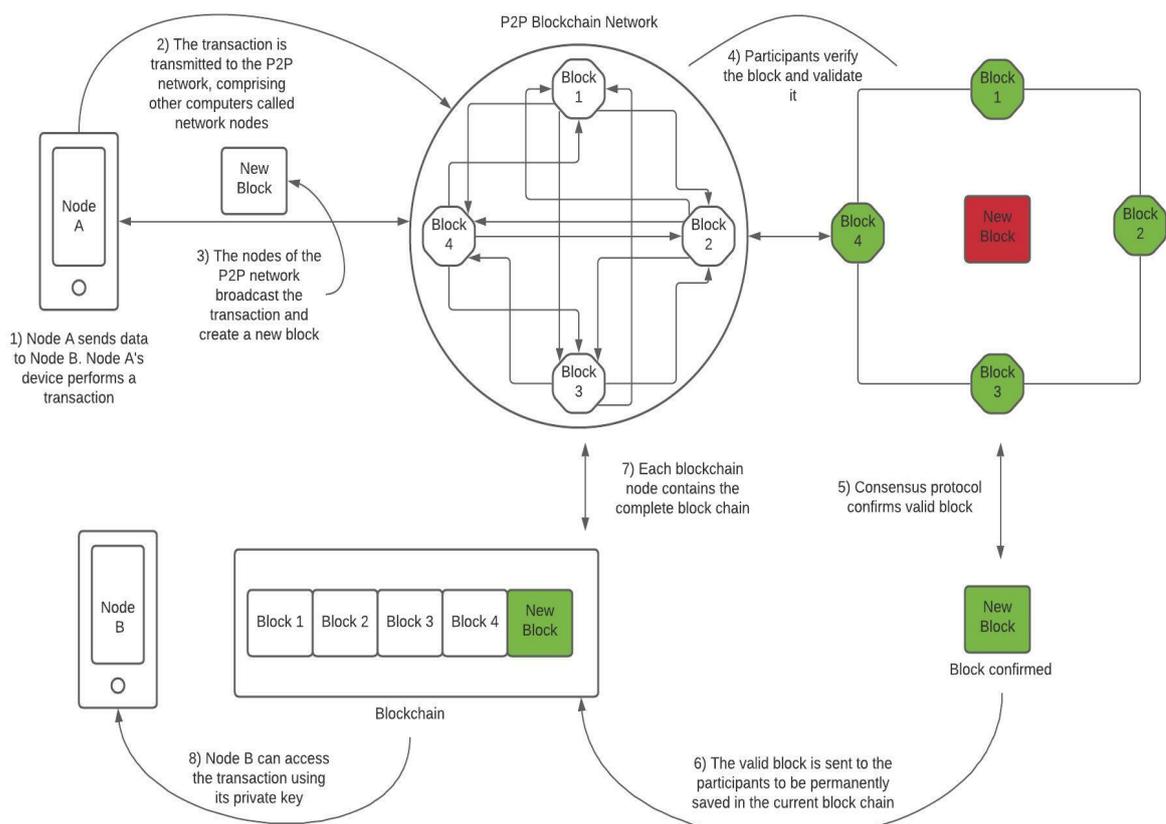
No que diz respeito às aplicações do blockchain, o conceito a princípio se destinava apenas às transações financeiras, com o Bitcoin. Na visão de Araújo e Eddine (2019) ao usar a tecnologia blockchain se torna muito difícil acontecer fraudes nas operações de bitcoin, uma vez que ao atacar certa informação é necessário que esse ataque ocorra em todos os mineradores, o

que se torna impossível por ser uma rede descentralizada. Assim, os referidos autores comentam que a organização dos dados dentro do blockchain é igual ao conceito de pilha. Pilha é uma Estrutura de Dados em que cada dado novo aponta para o seu antecessor (ARAÚJO; EDDINE, 2019).

### 2.3 Mobile Blockchain

Blockchain pode ser usado para desenvolver aplicações com dispositivos móveis. No entanto, para suportar o serviço baseado em blockchain, há um conjunto de mineradores executando continuamente um protocolo de consenso para confirmar e proteger dados ou transações distribuídas em segundo plano. Os mineiros digitais são obrigados a resolver um quebra-cabeça PoW. O processo de mineração é conduzido em uma estrutura de torneio, e os mineiros se perseguem para obter a solução.

Figura 2 – Rede blockchain com nós móveis



Fonte: Próprio autor.

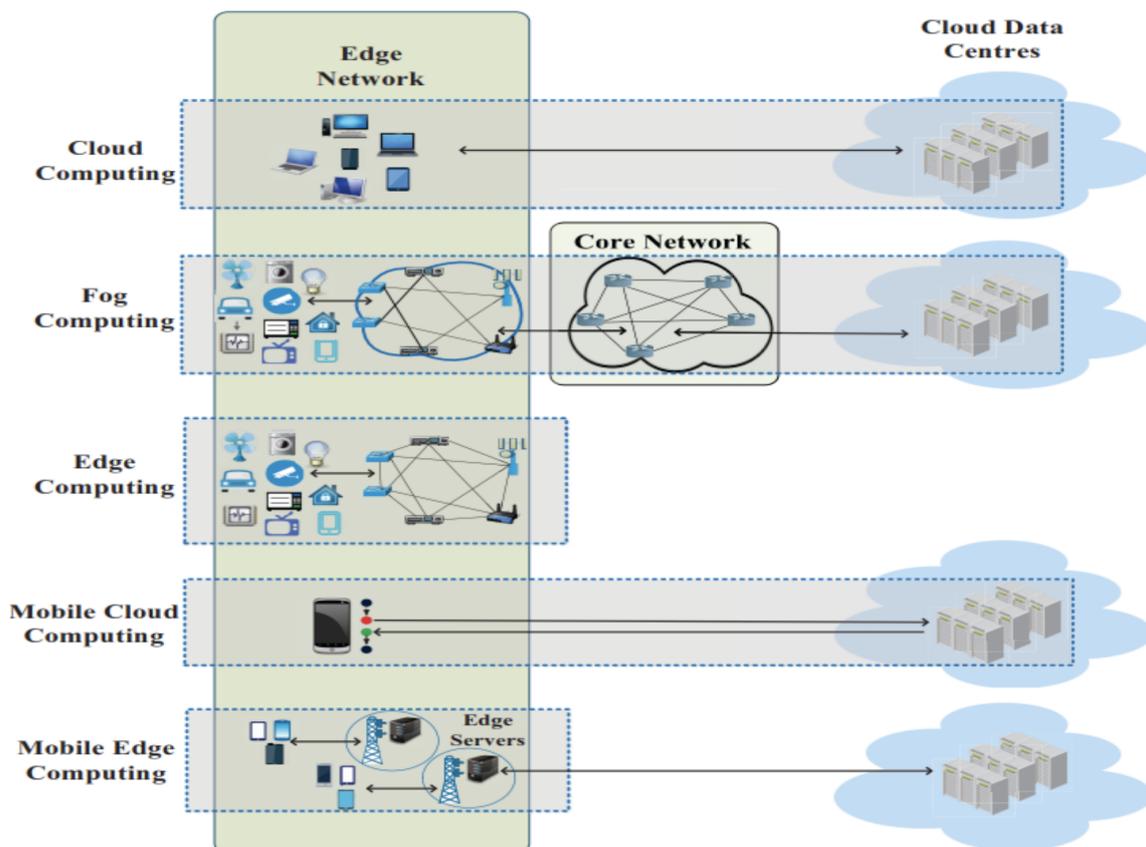
Na figura 2 é possível visualizar um processo de validação de um novo bloco em uma rede blockchain com nós móveis. Um novo bloco de informação é transmitido para a rede blockchain

e validado, passando pelo quebra-cabeça da prova de trabalho. Depois do bloco validado, ele é adicionado à rede blockchain.

Especificamente, o algoritmo de prova de trabalho (PoW) envolve encontrar um valor nonce em que a saída satisfaça uma determinada condição. Se o nonce for encontrado, o minerador irá combiná-lo com campos adicionais em um bloco e então transmitir o bloco para pares na rede blockchain para verificação e obtenção de consenso. Finalmente, o novo bloco pode ser vinculado à cadeia de blocos aceita existente. No entanto, para um usuário móvel, não é realista executar continuamente um programa tão difícil computacionalmente que requer um grande volume de energia e tempo. Devido às características marcantes da computação de ponta: baixa latência, mobilidade e ampla distribuição geográfica, é possível transferir as tarefas de mineração para os servidores de borda (JIAO et al., 2018b).

## 2.4 Edge Computing

Figura 3 – Arquiteturas de computação de borda



Fonte: (MAHMUD; KOTAGIRI; BUYYA, 2018)

A arquitetura de computação de borda móvel (MEC) foi introduzida para alavancar o poder de computação disponível em ambientes móveis. Os data centers e servidores locais são implantados por um provedor de serviços na “ponta” das redes móveis, como as estações base de redes de acesso de rádio. MEC é a tecnologia chave para atender aos rigorosos requisitos de baixa latência de redes de quinta geração (5G). A figura 3 ilustra essa arquitetura.

Os dispositivos móveis podem acessar os servidores de borda para aprimorar sua capacidade de computação (por exemplo, processamento de dados de detecção de IoT). Com esse recurso, a computação de borda se torna uma solução promissora para aplicativos de blockchain móveis, cujos benefícios são os seguintes. Primeiro, ao incorporar mais mineradores, a robustez da rede blockchain é naturalmente aprimorada. Em segundo lugar, os usuários móveis têm um incentivo da recompensa obtida no processo de consenso.

No entanto, os serviços de computação de ponta são implantados pelo provedor para maximizar seus benefícios. Como tal, surge uma questão de preço dos serviços de borda. Da mesma forma, dado o preço adotado pelo provedor de serviços de computação de ponta, as mineradoras também precisam otimizar sua demanda por serviço de computação de ponta para resolver PoW e maximizar seus ganhos (XIONG et al., 2018c).

# 3

## Trabalhos Relacionados

Neste trabalho foi usada a metodologia de pesquisa mapeamento sistemático para coleta de informações pertinentes sobre o tema discutido.

### 3.1 Mapeamento Sistemático

O Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) é utilizado quando não é necessário responder com profundidade questões específicas, mas sim uma visão geral mais ampla de determinada área (MOHER; STEWART; SHEKELLE, 2015). Dessa forma, o tópico de mobile blockchain foi escolhido para ser o foco do mapeamento sistemático.

Nesse contexto, a metodologia do mapeamento sistemático utilizado para esse estudo segue as seguintes etapas: planejamento do mapeamento, condução do mapeamento e publicação dos resultados (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007). Essas fases, bem como suas atividades, são conduzidas de modo iterativo.

#### 3.1.1 Planejamento do mapeamento

A metodologia do mapeamento sistemático, nesse estudo, tem o principal objetivo de fazer um levantamento quantitativo do tópico mobile blockchain para que se tenha ao mínimo uma noção do quanto de pesquisa existe na área de mobile blockchain e, a partir desse conteúdo retornado proveniente da aplicação de uma string de busca em bases bibliográficas, procurar quais são **as lacunas** e as **tendências de pesquisa do mobile blockchain** nos trabalhos aceitos dentre os retornados.

Os próximos passos consistem em definir as questões de pesquisa, a estratégia de busca, string de busca, fontes de pesquisa, critérios de seleção e critérios de qualidade. Essas etapas iteram com a próxima fase do mapeamento sistemático, a condução.

### 3.1.2 Condução do mapeamento

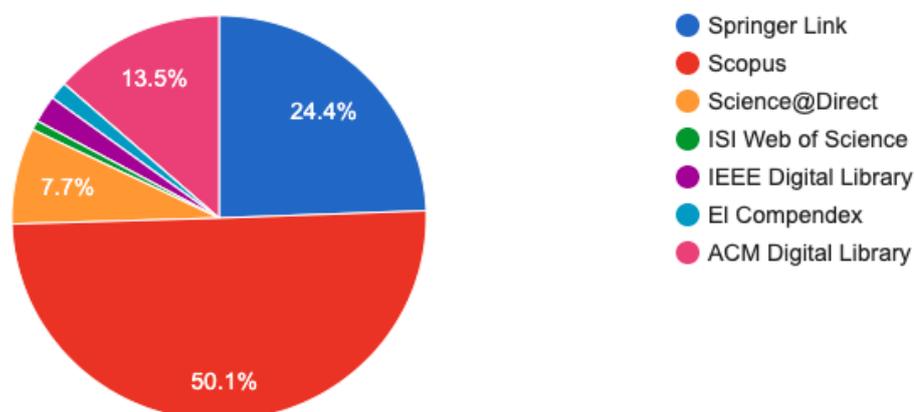
Como parte da estratégia de busca e a fim de fazer associação das correlações geradas a partir dos estudos coletados, as questões de pesquisa foram definidas. Elas também serão expostas na próxima seção, já sendo respondidas após as correlações realizadas.

1. Quando e onde os estudos foram publicados?
2. Do ponto de vista de aplicações do mobile blockchain, quais aspectos foram focados?
3. Do ponto de vista do desempenho do mobile blockchain, quais tópicos foram focados?
4. Que tipo de pesquisas foram feitas?
5. Que problemas foram apontados por pesquisadores em relação ao desempenho e à aplicação do mobile blockchain?
6. Quais são os objetivos de usar o blockchain em dispositivos móveis?
7. Quais são as principais conclusões relatadas em relação à aplicação do mobile blockchain?

Nesse sentido, foram retornados 1814 trabalhos utilizando-se da seguinte string de pesquisa:

• “Mobile” AND “Blockchain” AND “Application” AND “Performance” AND (“Analysis” OR “Study” OR “Analitical Study”)

Figura 4 – Artigos por base bibliográfica



Fonte: Próprio autor.

Na figura 4 é possível visualizar que, dentre os 1814 trabalhos retornados, 909 trabalhos (50.1%) foram da base **Scopus**, 443 (24.4%) da base **Springer Link**, 244 (13.5%) da base **ACM**

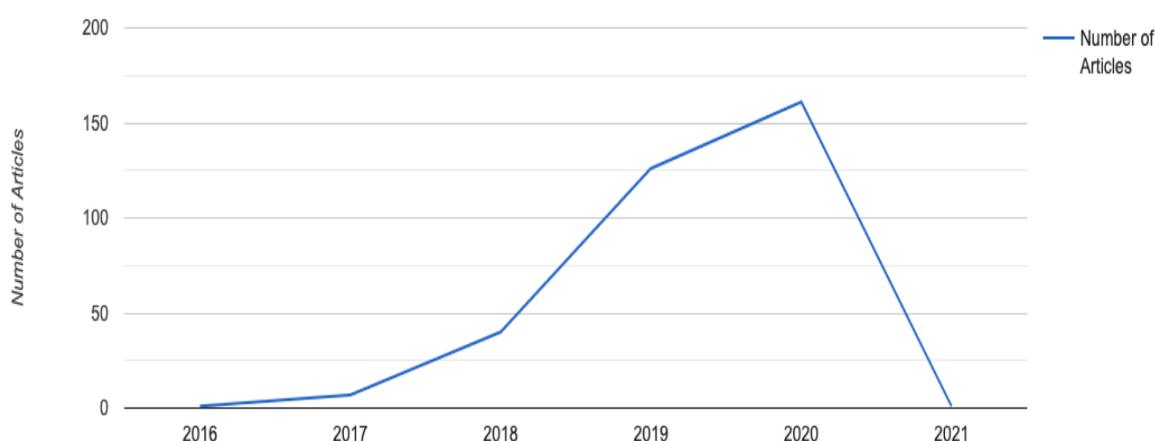
**Digital Library**, 139 (7.7%) da base **Science Direct**, 39 (2.1%) da base **IEEE Digital Library**, 26 (1.4%) da base **Engineering Village** e 14 (0.8%) da base **Web of Science**.

Dos trabalhos retornados, 337 trabalhos dentre os 1814 foram selecionados levando-se em consideração o **critério de inclusão** de que **o trabalho deve ser referente ao estudo e aplicação do mobile blockchain**. De outra forma, os critérios de exclusão foram organizados de tal forma que o critério de exclusão de que **o trabalho não atende ao critério de inclusão** descartou 1094 trabalhos, o de que **o trabalho não possui um resumo** descartou 2, o de que **o trabalho não é um estudo primário** descartou 311 trabalhos, o de que **não foi possível ter acesso ao trabalho** descartou 2 trabalhos e o de que **o trabalho não pode ser duplicado** descartou 68 trabalhos.

### 3.1.2.1 Aplicação do critério de qualidade

Dos 337 trabalhos selecionados após a aplicação do critério de inclusão, viu-se a necessidade de aplicar alguns critérios de qualidade. Essa estratégia foi adotada porque se viu a necessidade de filtrar mais ainda os artigos selecionados uma vez que boa parte destes apenas expuseram algum tópico ou fizeram alguma menção sobre o mobile blockchain, estudo e aplicação, não sendo o núcleo de artigo. Na figura 5, a seguir, pode-se ver todos os artigos selecionados e divididos por ano de publicação, sem a aplicação dos critérios de qualidade.

Figura 5 – Número de artigos por ano para estudo de Mobile Blockchain



Fonte: Próprio autor.

Foram definidas notas para cada critério de qualidade aplicado. Essas notas foram divididas da seguinte maneira:

- Muito relacionado (artigo totalmente focado em mobile blockchain): pontuação de classificação 6;

- Razoavelmente relacionado (pontos evidentes sobre o blockchain são citados e úteis para o estudo e aplicação do mobile blockchain): pontuação de classificação 3;

- Fracamente relacionado (pequenas ideias sobre blockchain são citadas e podem ser úteis para o mobile blockchain, não evidentemente propostas para este propósito no papel): pontuação de classificação 1;

Na tabela 1 é possível visualizar que os artigos foram separados de uma forma que 9 trabalhos receberam nota 6, 20 receberam nota 3 e 308 nota 1. Para a revisão sistemática, são expostos os resumos dos artigos com nota 6 (muito relacionado) que são utilizados porque têm, segundo a classificação proposta como critério de qualidade, muita correlação com a proposta deste trabalho: o mobile blockchain.

Tabela 1 – Relação entre quantidade de artigos e critério de qualidade

<b>Critério de qualidade</b>	<b>Artigos</b>
Muito relacionado	9
Razoavelmente relacionado	20
Pouco relacionado	308
<b>TOTAL</b>	<b>337</b>

## 3.2 Estado da arte em Mobile Blockchain

Do total de trabalhos coletados, após aplicação dos critérios de inclusão e posterior aplicação de critérios de qualidade, os que foram classificados como muito relacionado, com nota 6, são explanados nos seguintes subtópicos de acordo com alguns tópicos de pesquisa.

Os 20 artigos restantes, classificados como razoavelmente relacionados, com nota 3, serão correlacionados na próxima seção denominada de correlações. Dessa forma, pode-se ter a noção de quais são os temas tangentes ao objeto de estudo deste trabalho e que são discutidos na comunidade científica, bem como suas áreas de aplicações, apesar de não estarem classificados como muito relacionados por não fazerem alusão ao mobile blockchain diretamente, mas tangenciar o tema com alguma menção no trabalho.

### 3.2.1 Edge computing

Em (LIU et al., 2019), é defendido que é um desafio aplicar a técnica de blockchain para aplicativos móveis, uma vez que os dispositivos móveis não podem pagar os recursos de computação exigidos pelos processos de mineração.

Este artigo propõe um mecanismo baseado em um duplo leilão combinatório para descarregar o processo de mineração de mineradoras para os servidores de borda. O mecanismo é formulado como um problema de alocação de recursos. Os algoritmos de alocação e esquema

de pagamento correspondentes são propostos para alocar recursos e calcular preços de comércio, respectivamente. Além disso, este artigo prova que o mecanismo proposto é eficiente em termos de cálculo, e satisfaz três propriedades de leilão econômico que são equilíbrio orçamentário, racionalidade individual e veracidade. Resultados experimentais mostram que o mecanismo proposto é capaz de render maior utilidade total, juntamente com boa escalabilidade.

Em (XIONG et al., 2018a), é discorrido que o desenvolvimento de blockchain em aplicativos móveis é restrito também. Neste artigo, considera-se a computação de borda como o habilitador de rede para blockchain móvel. Em particular, estuda-se o gerenciamento de recursos de computação de ponta com base em preços ideais para suportar aplicativos de blockchain móveis onde o processo de mineração pode ser transferido para um provedor de serviços de computação de borda (ESP). Dessa forma, é adotado um jogo Stackelberg de dois estágios para maximizar conjuntamente o lucro do ESP e as utilidades individuais de diferentes mineradores.

Em (LI; WU; CHEN, 2019), discute-se o blockchain como uma solução de segurança eficaz aplicada em muitos dispositivos móveis. Mas, devido aos limites de armazenamento e capacidades computacionais, é difícil para os dispositivos móveis executar aplicações do blockchain localmente. Para resolver esse desafio, os aplicativos blockchain são transferidos para servidores de borda com computação móvel de borda (MEC). No entanto, a maioria dos mecanismos de leilão existentes no blockchain móvel não consegue utilizar a execução paralela e o desempenho de longo prazo não foi bem tratado.

Dessa forma, esse artigo investiga o problema de descarregamento de tarefa de computação de blockchain móvel para melhorar a utilidade total dos participantes do leilão. Um mecanismo de leilão denominado POEM+ resolvendo um problema NP-difícil de mochila multidimensional de múltipla escolha é proposto.

Em (LIU et al., 2020), é discutido que em uma rede blockchain móvel, muitos dispositivos móveis têm capacidade computacional insuficiente para executar tarefas de computação intensiva localmente. Para resolver esse problema, as tarefas de blockchain podem ser transferidas para servidores de borda com a ajuda de um leilão. No entanto, a maioria dos mecanismos de leilão no blockchain móvel ignora a execução paralela automática e o desempenho de longo prazo. Este artigo tem como objetivo resolver o problema de offloading de computação em uma rede mobile blockchain.

Esse problema foi transformado em um problema de mochila multidimensional de escolha múltipla que é NP-difícil. Para melhorar a utilidade total dos participantes do leilão, este artigo propõe um mecanismo de leilão duplo baseado em contrato inteligente, denominado leilão de longo prazo para blockchain móvel (LAMB). As subtarefas podem ser descarregadas de um dispositivo móvel para servidores de borda heterogêneos. Além disso, o LAMB satisfaz as propriedades econômicas de um mecanismo de leilão.

Os resultados experimentais demonstram que a razão de utilidade e utilização pode

ser alcançada em 130,55% maior e 138,64% maior, respectivamente, em comparação com o algoritmo de leilão WBD existente. Além disso, o LAMB proposto pode garantir desempenho de longo prazo para o descarregamento de tarefas e pode alcançar a execução automática em um ambiente autônomo e seguro.

### 3.2.2 Deep learning

Em (GAO et al., 2020), é discutido sobre o blockchain móvel que suporta aplicativos de IoT, e a computação de borda móvel (MEC) que é implantada na Small-cell Base Station (SBS) como um suplemento para aprimorar a capacidade de computação dos dispositivos de IoT. Para incentivar a participação da SBS nas redes mobile blockchain, é considerada a receita de longo prazo da SBS. O problema de agendamento de tarefas que maximiza a recompensa de mineração de longo prazo e minimiza o custo de recursos do SBS é formulado como um Processo de Decisão de Markov (MDP - Markov Decision Process).

Para alcançar uma estratégia inteligente e eficiente, é proposta a solução baseada no aprendizado de reforço profundo (DRL - Deep Reinforcement Learning), chamada algoritmo de escalonamento de tarefas computacionais baseado em gradiente de política (PG-CTS). O mapeamento da política do estado do sistema para a decisão de agendamento da tarefa é representado por uma rede neural profunda. As simulações episódicas são construídas e o algoritmo REINFORCE com linha de base é usado para treinar a rede política.

De acordo com os resultados do treinamento, o método PG-CTS é cerca de 10% melhor do que o segundo melhor método guloso. A capacidade de generalização do PG-CTS é comprovada teoricamente, e os resultados dos testes também mostram que o método PG-CTS tem melhor desempenho sobre as outras três estratégias, guloso, primeiro a entrar - primeiro a sair (FIFO) e aleatório em diferentes ambientes.

Em (NGUYEN et al., 2020), é defendido que a tecnologia blockchain, com sua natureza segura, transparente e descentralizada, foi recentemente empregada em muitos aplicativos móveis. No entanto, o processo de execução de tarefas extensas, como aplicativos de dados de computação intensiva e mineração de blockchain, requer alta capacidade computacional e de armazenamento de dispositivos móveis, o que impediria os aplicativos de blockchain em sistemas móveis.

Para atender a esse desafio, é proposta uma rede de blockchain baseada em computação de borda móvel (MEC), onde usuários multi-móveis (MUs) atuam como mineradores para descarregar suas tarefas de processamento de dados e mineração para um servidor MEC próximo por meio de canais sem fio. Especialmente, é formulado o descarregamento de tarefas, preservação da privacidade do usuário e lucro de mineração como um problema de otimização conjunta que é modelado como um processo de decisão Markov, onde o objetivo é minimizar a utilidade de descarregamento do sistema de longo prazo e maximizar os níveis de privacidade para todos os usuários do blockchain.

Primeiro, é proposto um esquema de descarregamento baseado em aprendizagem de reforço (RL) que permite às MUs tomar decisões de descarregamento ideais com base em estados de transação de blockchain, qualidades de canal sem fio entre MUs e servidor MEC e estados de hash de energia do usuário.

Para melhorar ainda mais os desempenhos de descarregamento para cenários de blockchain em maior escala, foi desenvolvido um algoritmo RL profundo usando uma rede Q profunda que pode resolver com eficiência um grande espaço de estado sem qualquer conhecimento prévio da dinâmica do sistema.

Os resultados da experiência e simulação mostram que os esquemas de descarregamento baseados em RL propostos aumentam significativamente a privacidade do usuário e reduzem o consumo de energia, bem como a latência de computação com custos de descarregamento mínimos em comparação com os esquemas de descarregamento de referência.

### 3.2.3 Cloud Computing

Em (XU; ZHU; LI, 2020), é discorrido que o blockchain móvel foi reconhecido como uma solução emergente para resolver os problemas de segurança e privacidade em um sistema de aplicativo móvel. O processo de mineração em blockchain móvel requer recursos de computação elevados que podem sobrecarregar o que os dispositivos móveis podem oferecer. Nesse caso, servidores de computação de borda móvel (MESs) podem ser envolvidos para oferecer serviços de computação para mineradores em blockchain móvel. Observa-se que os recursos dos MESs também são limitados; os MESs podem ainda solicitar recursos do servidor de computação em nuvem (CCS). Consequentemente, surge a questão da alocação hierárquica de recursos de computação.

Neste artigo, primeiro é considerado um caso simples com vários compradores de vendedor único e um modelo hierárquico de leilão combinatório de vendedor único e multibuyer proposto para resolver este problema, com base no qual estruturas eficientes e verdadeiras são fornecidas.

Em seguida, entende-se o modelo para considerar vários CCSPs e propor um modelo de leilão combinatório de vários compradores e vários vendedores hierárquicos. Para ambos os modelos, os problemas de determinação do vencedor são formulados e algoritmos computacionalmente tratáveis são propostos. Além disso, esquemas de preços são propostos para garantir a propriedade de compatibilidade de incentivos e racionalidade individual. Finalmente, são avaliados os esquemas propostos por meio de simulações.

### 3.2.4 Otimização

Em (OWOH; SINGH, 2019), é discutido que o blockchain móvel obteve grande sucesso com a integração de serviços de computação de borda. Este conceito, quando aplicado no

sensoriamento de multidão móvel, permite a transferência de dados do sensor de clientes blockchain para nós de extremidade. Os nós de borda realizam prova de trabalho nos dados do sensor de clientes do blockchain e acrescentam dados validados à cadeia. Com essa abordagem, o blockchain pode ser executado de forma abrangente. No entanto, a proteção de dados sensíveis do sensor em um blockchain móvel (arquitetura cliente/nó de extremidade) torna-se fundamental.

Para esse fim, este artigo propõe uma estrutura integrada para blockchain móvel que garante acordo chave entre clientes e nós de borda usando o algoritmo Elliptic Curve Diffie-Hellman. Além disso, a estrutura fornece criptografia eficiente de dados de sensor usando o algoritmo Advanced Encryption Standard (AES). Finalmente, os principais processos de concordância na estrutura foram analisados e os resultados mostram que o emparelhamento de chaves entre o cliente blockchain e o nó de borda é um processo não trivial.

### 3.2.5 Aplicações

Em (SUANKAEWMANEE et al., 2018), é defendido que a segurança móvel tornou-se cada vez mais importante devido ao crescimento do comércio móvel (m-commerce). No entanto, é defendido também que o desenvolvimento do m-commerce está enfrentando muitos desafios relacionados aos problemas de segurança de dados. Recentemente, o blockchain foi apresentado como uma solução de segurança eficaz implantada com sucesso em muitos aplicativos na prática, como Bitcoin, computação em nuvem e Internet das Coisas.

Nesse contexto, esse artigo apresenta um novo aplicativo de m-commerce usando a tecnologia blockchain, a saber, MobiChain, para proteger transações no m-commerce. Especialmente, no aplicativo MobiChain, os processos de mineração podem ser executados de forma eficiente em dispositivos móveis usando o módulo de núcleo Android proposto. Por meio de experimentos reais, foi avaliado o desempenho do modelo proposto e mostrado que o blockchain pode ser uma solução de segurança eficiente para o futuro m-commerce.

## 3.3 Análise dos resultados e correlações

Essa é a etapa de publicação dos resultados, a última etapa da metodologia escolhida para o mapeamento (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007) deste trabalho. Logo, são correlacionados, tanto os artigos com classificação 6, muito relacionados, como artigos com classificação 3, razoavelmente relacionados.

### 3.3.1 Trabalhos razoavelmente relacionados por tópico de pesquisa

A tabela 2 correlaciona os trabalhos selecionados e razoavelmente relacionados, **nota 3**, com o mobile blockchain de acordo com um dos tópicos de pesquisa: **Crowdsensing, IoT, Cloud Computing, Edge Computing e Mobile**.

Tabela 2 – Trabalhos razoavelmente relacionados por tópico de pesquisa

Paper	Trabalhos razoavelmente relacionados por tópico de pesquisa				
	Crowd.	IoT	Cloud Comp.	Edge Comp.	Mobile
(HU et al., 2020)	✓				
(UDDIN et al., 2019)		✓			
(SIVARAM et al., 2020)					✓
(ZHENG et al., 2019)			✓		
(XU et al., 2019)			✓		
(LWIN; YIM; KO, 2020)					✓
(HUH; SEO, 2019)					✓
(QIAO et al., 2019)				✓	
(NGUYEN et al., 2019)			✓		
(LIU et al., 2018)				✓	
(ZOU et al., 2019)	✓				
(SUNG et al., 2020)					✓
(FERNÁNDEZ-CARAMÉS et al., 2019)		✓			
(LIANG et al., 2017)					✓
(FENG et al., 2020)				✓	
(CHENG et al., 2020)					✓
(HO et al., 2018)			✓		
(RASOOL et al., 2020)					✓
(KIM; JEONG, 2018)			✓		
(LIANG et al., 2018)					✓

### 3.3.2 Trabalhos muito relacionados por tópico de pesquisa

A tabela 3 mostra a correlação que existe entre os trabalhos selecionados e muito relacionados com o mobile blockchain de acordo com um dos tópicos de pesquisa: **Edge Computing, Deep Learning, Cloud Computing, Otimização e Aplicações**.

Nesse sentido, validando o que se mostrou como uma das boas soluções para os problemas apresentados da aplicação do blockchain em dispositivos móveis, a aplicação de computação de borda é a mais citada nos artigos mais relacionados.

Tabela 3 – Trabalhos muito relacionados por tópico de pesquisa

Paper	Trabalhos muito relacionados por tópico de pesquisa				
	Edge Comp.	Deep Learn.	Cloud Comp.	Opti.	Appl.
(LIU et al., 2019)	✓				
(XIONG et al., 2018a)	✓				
(LI; WU; CHEN, 2019)	✓				
(LIU et al., 2020)	✓				
(GAO et al., 2020)		✓			
(NGUYEN et al., 2020)		✓			
(XU; ZHU; LI, 2020)			✓		
(OWOH; SINGH, 2019)				✓	
(SUANKAEWMANEE et al., 2018)					✓

### 3.4 Questões de pesquisa

Com base no mapeamento sistemático, as seguintes questões de pesquisa são respondidas nesta seção.

#### 3.4.1 Quando e onde os estudos foram publicados?

Os trabalhos estão distribuídos no intervalo de tempo de 2016 até 2021 e são publicados em diversos periódicos, a saber: **Wireless Communications and Mobile Computing**, **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, **IEEE Transactions on Network and Service Management**, **IEEE Access**, entre outros.

#### 3.4.2 Do ponto de vista de aplicação do mobile blockchain, que aspectos têm sido enfocados?

Uma das aplicações do mobile blockchain muito interessante de ser enfatizada é para o m-commerce, como citado em (SUANKAEWMANEE et al., 2018). Além dessa aplicação, muitas outras são possíveis, como demonstrado na seção de conceitos básicos, nos casos de uso na área da saúde, em Supply Chain e no próprio mercado financeiro, similar ao m-commerce.

### **3.4.3 Do ponto de vista de desempenho do mobile blockchain, que tópicos têm sido enfocados?**

Muitos trabalhos têm usado computação de borda (Edge Computing) para melhorar o desempenho do mobile blockchain, como se pode ver em (LIU et al., 2019), (XIONG et al., 2018a), (LI; WU; CHEN, 2019) e (LIU et al., 2020). O uso de algoritmos de aprendizagem profunda (Deep Learning) também tem sido outra solução para melhorar o desempenho do mobile blockchain, como enfatizado em (GAO et al., 2020) e (NGUYEN et al., 2020).

### **3.4.4 Que tipos de pesquisa têm sido feitas?**

Uma prática utilizada relacionada a pesquisa em mobile blockchain é o levantamento do estado da arte presseguido de aplicação, como foi realizado em (SUANKAEWMANEE et al., 2018). No que se refere às práticas utilizadas nesses trabalhos, muitos utilizaram da metodologia de mapeamento sistemático para fazer o levantamento bibliográfico. Quanto às aplicações, muitos trabalhos apresentaram aplicações em casos de usos reais e controlados, com cenários reduzidos. Por fim, em sua maioria, foi utilizada a plataforma Android como alvo de estudo e aplicação.

### **3.4.5 Que problemas têm sido apontados pelos pesquisadores no que tange ao Desempenho e Aplicação do mobile blockchain?**

Um ponto a ser destacado, sendo o mais importante para este trabalho, é a limitação dos dispositivos móveis no que se refere à capacidade de processamento mediante a aplicação do mobile blockchain. Todos os 9 trabalhos escolhidos com nota 6, muito relacionados ao mobile blockchain, relatam essa problemática e propõem soluções para amenizá-la. Destes trabalhos mencionados, as soluções em sua maioria envolvem o uso da computação de borda para auxiliar no processamento do mobile blockchain.

### **3.4.6 Quais os propósitos de se empregar o blockchain em dispositivos móveis?**

O propósito geral é a segurança da informação no ambiente móvel, como exemplificado em (LI; WU; CHEN, 2019). Isso é ratificado também devido à constante referência ao ambiente móvel nos trabalhos classificados com nota 3, razoavelmente relacionados, pelo critério de qualidade. Apesar de não terem como tema principal o blockchain na plataforma móvel, fazem alusão constante à aplicação nessa plataforma. A tabela 3 demonstra esse fato.

### 3.4.7 Quais as principais conclusões reportadas relativas à aplicação do mobile blockchain?

A conclusão que é notada em alguns trabalhos do mapeamento sistemático, como em (LIU et al., 2019) e (XIONG et al., 2018a), é que é um desafio aplicar a técnica de blockchain em aplicativos móveis. De outro modo, a técnica se mostra como solução em segurança para a plataforma móvel, como citado em (LI; WU; CHEN, 2019).

## 3.5 Lacunas e tendências de pesquisa em mobile blockchain

De tudo discutido neste capítulo, conclui-se que a principal lacuna de pesquisa está no estudo de mais soluções que melhorem o desempenho do aplicativo blockchain em dispositivos móveis. Essa afirmação não desvalida as que já existem, mas afirma que existem poucas soluções boas que otimizam o algoritmo blockchain nestas plataformas.

A partir do que foi coletado e analisado nos trabalhos escolhidos, conclui-se que a principal lacuna de pesquisa está no estudo de mecanismos mais eficientes que melhorem o desempenho e a aplicação do blockchain em dispositivos móveis. Existem alternativas úteis que podem ser aplicadas e transportadas para um cenário mais realista de acordo com a necessidade de mecanismos seguros para informações armazenadas em dispositivos móveis atualmente. No entanto, ainda há a necessidade de buscar mecanismos que, utilizando menos recursos computacionais, possam suprir ou mesmo superar os já existentes, pois o objetivo é tornar o blockchain móvel cada vez mais escalável.

Por exemplo, além da computação de borda, que outros sistemas distribuídos podem ser usados no cenário de aplicações do blockchain móvel? Talvez isso ainda não esteja claro a partir das pesquisas existentes coletadas neste mapeamento sistemático. Assim, há uma lacuna de pesquisa.

Em relação às tendências de pesquisa, muito está sendo estudado sobre o uso de edge computing como auxiliar para o blockchain móvel. Isso fica mais evidente no artigo (SARPONG, 2014), onde é citado sobre MEC (Mobile Edge Computing). O MEC acaba sendo a arquitetura mais utilizada para fins de aplicação de blockchain em dispositivos móveis.

De outra forma, o uso de algoritmos de aprendizado de máquina, como já mencionado, também é percebido para melhorar o desempenho do blockchain móvel e também o uso de serviços de computação em nuvem. Por exemplo, em (XIONG et al., 2018c) Mobile Edge Computing Servers (MESs) estão envolvidos para oferecer serviços de computação para mineradores em blockchain móvel. Observa-se que os recursos dos MES também são limitados; Os MESs também podem solicitar recursos do servidor de computação em nuvem (CCS).

Uma aplicação de blockchain em dispositivos móveis que tem se mostrado bastante promissora é no mercado de cadeias de suprimentos e nas aplicações financeiras. Existem muitos

aplicativos móveis, como bancos e comércio móvel, que certamente se beneficiarão da segurança derivada do uso da tecnologia na plataforma móvel.

# 4

## Metodologia de Avaliação de Desempenho

Conforme demonstrado no Capítulo 3, há certa deficiência na aplicação do mobile blockchain em dispositivos móveis. Uma das abordagens mais favoráveis é a utilização de computação de borda para auxiliar o blockchain em dispositivos móveis, como exposto em (MOURA; BRAUNER; MUNIZ, 2020).

Além disso, dos trabalhos escolhidos para o mapeamento sistemático, não foi encontrado nenhum que apontasse as lacunas e tendências de pesquisa do tema em questão. Nesse sentido, uma outra deficiência percebida durante o processo do mapeamento sistemático foi a falta de artigos que demonstrassem o fluxo processual de como ocorre a aplicação do blockchain em dispositivos móveis, comparando-os de acordo com as tecnologias utilizadas. Por esse motivo, foi introduzido o fluxo do mobile blockchain na seção de fundamentação teórica deste trabalho.

A partir desse conhecimento, nesta seção discorre-se sobre a análise de desempenho do mobile blockchain sem uma arquitetura de computação de borda móvel, como já ilustrado na figura 2, e com uma arquitetura de computação de borda móvel, a qual é ilustrada mais adiante. O caso de uso é uma Wallet (carteira virtual). Então, um **benchmark** é provido por meio do uso e acompanhamento do blockchain em dispositivos móveis físico, emulado e com o uso de serviço de computação de borda.

### 4.1 Benchmark

Um questionamento que serviu de premissa para a realização desse benchmark foi o seguinte: **adicionar computação de borda ao processo de mineração do mobile blockchain aumentaria seu desempenho ou apenas seria uma complexidade desnecessária?**

Dado esse questionamento, segue o conceito.

"Define-se benchmark como uma ferramenta padrão para a avaliação competitiva e

comparação de sistemas concorrentes ou componentes de acordo com características específicas, como desempenho, confiabilidade ou segurança"(KISTOWSKI et al., 2015)

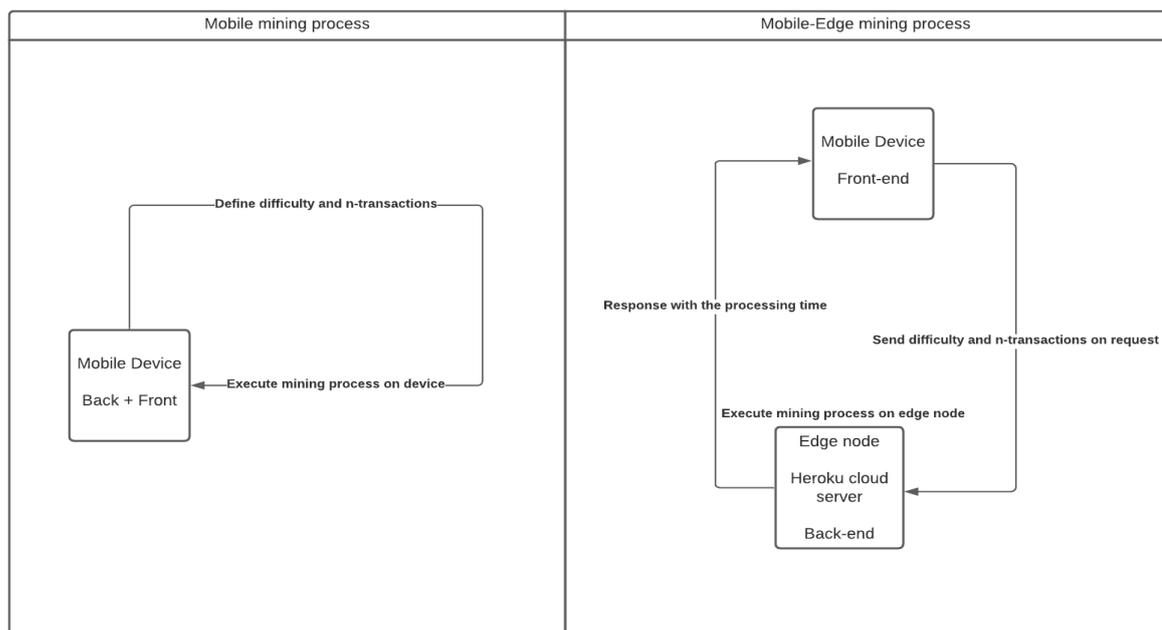
Existem vários tipos de benchmarks, dentre os quais se pode citar: interno, externo, prático e de performance. Para esse trabalho, foi escolhido o de performance justamente por ser o mais cabível para a avaliação de desempenho usando-se de métricas. (GRACE, 1996)

Nesse sentido, a circunstância é a avaliação do desempenho do mobile blockchain em 2 arquiteturas diferentes e 3 hardwares com especificações distintas.

## 4.2 Arquiteturas

Para o presente trabalho, foram pensadas duas arquiteturas. Elas são comparadas a fim de verificar qual obtém melhor desempenho.

Figura 6 – Arquiteturas usadas

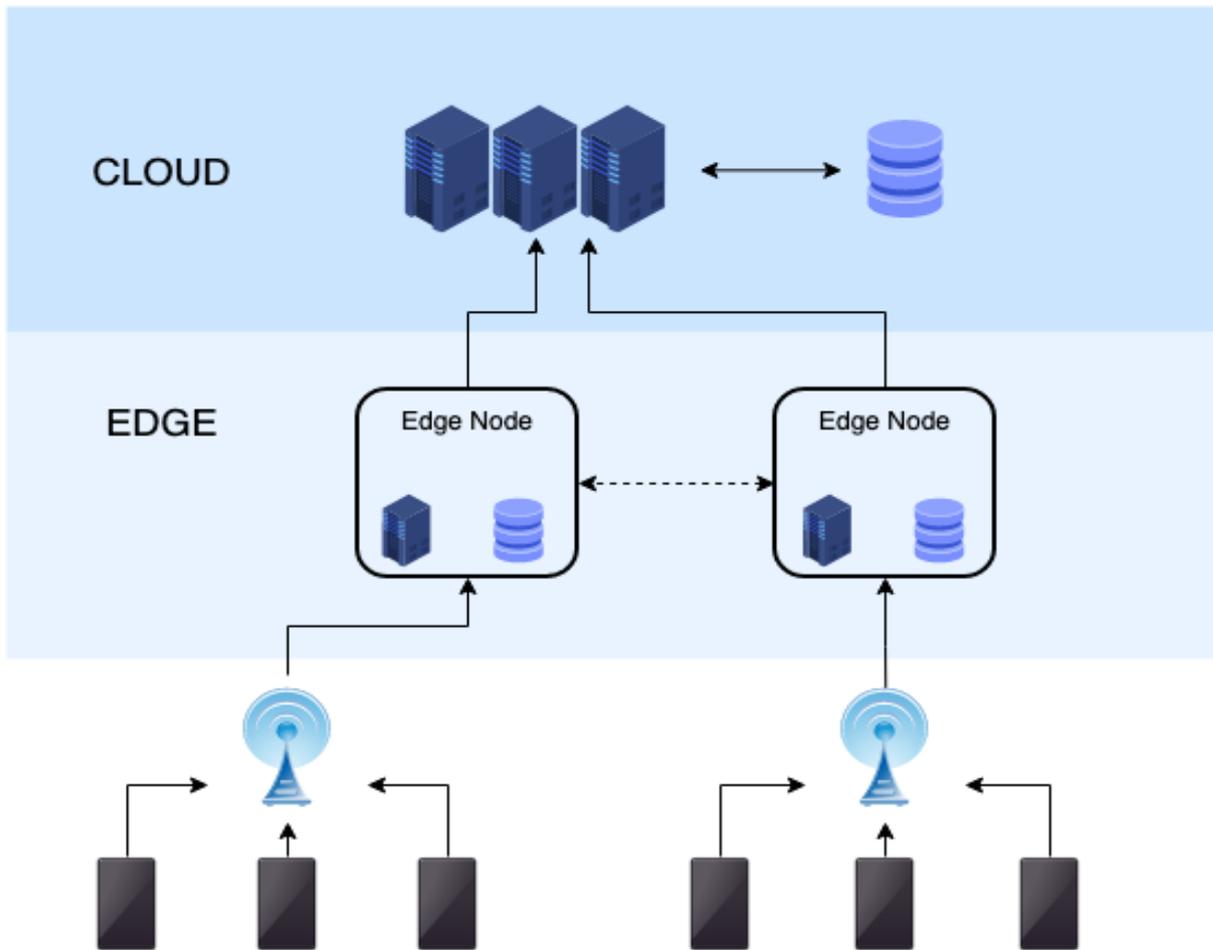


Fonte: Próprio autor.

Ao lado esquerdo da figura 6, temos a arquitetura padrão do processo de mineração do mobile blockchain em um dispositivo móvel: o back-end e o front-end da Wallet estão concentrados no dispositivo móvel. Na própria aplicação são definidas a dificuldade e o número de transações envolvidas no processo de mineração. Depois disso, o processo de mineração é feito no próprio dispositivo móvel.

Ao lado direito da figura 6, temos a arquitetura de computação de borda móvel. No aplicativo é mantido apenas o front-end da carteira virtual, enquanto o back-end está em um nó de borda, um servidor na nuvem. Nesse sentido, a figura 7 ilustra a arquitetura correspondente à utilizada neste trabalho.

Figura 7 – Arquitetura de computação de borda móvel



Fonte: (MAHMUD; KOTAGIRI; BUYYA, 2018)

Nesse contexto, é usado o serviço Heroku, o qual será detalhado mais adiante. Então, a primeira interação acontece no aplicativo móvel. Ao iniciá-lo, são enviados dados que definem a dificuldade e o número de transações em uma requisição para o nó de borda. Dados os parâmetros, o processo de mineração é executado nesse nó. Terminado o processo, uma resposta é enviada para o dispositivo móvel com o tempo de processamento que levou a mineração no nó de borda.

### 4.3 Dispositivos, softwares e tecnologias usadas

Para realizar os testes foram utilizados 1 dispositivo físico, 1 dispositivo Android emulado por meio do Android Stúdio e 1 dispositivo IOS simulado por meio do XCode, ambos em uma máquina AVELL A62 MUV. Além desses dispositivos, foi decidido usar as plataformas Back4App, Firebase e Heroku, plataformas como serviço que proveram os nós de borda na arquitetura de computação de borda usada neste trabalho.

#### 4.3.1 Dispositivo físico - Xiaomi Redmi 7

Figura 8 – Xiaomi Redmi 7



Fonte: Próprio Autor.

Conforme ilustrado na figura 8, o dispositivo físico usado no benchmark deste trabalho foi o Xiaomi Redmi 7. Esse device possui uma RAM de 3 GB e uma CPU Octa-core com Max. 1.80GHz.

#### 4.3.2 Máquina AVELL A62 MUV

Conforme ilustrado na figura 9, a Workstation usada neste trabalho foi uma Máquina Avell A62 MUV. Essa máquina foi usada para executar o programa e emulador do dispositivo Android, bem como o programa e simulador do dispositivo IOS. Ambos, dispositivo Android e IOS, bem como os seus programas, são discutidos mais a frente. Essa máquina possui uma CPU

Intel® Core™ i7-9750H Coffee Lake Refresh, com 12MB Cache (2.6 GHz até 4.5 GHz com Intel® Turbo Boost) e uma memória de 64GB (2666 MHz).

Figura 9 – Workstation Avell 062 MUV



Fonte: Próprio autor.

### 4.3.3 Android Stúdio

Conforme ilustrado na figura 10, o Android Stúdio é o ambiente de desenvolvimento utilizado para desenvolvimento de programas para dispositivos com o sistema operacional Android. Nele, há um agregado de ferramentas que auxiliam nesse processo. Uma delas é o AVD Manager, programa responsável por prover emuladores de dispositivos Android.

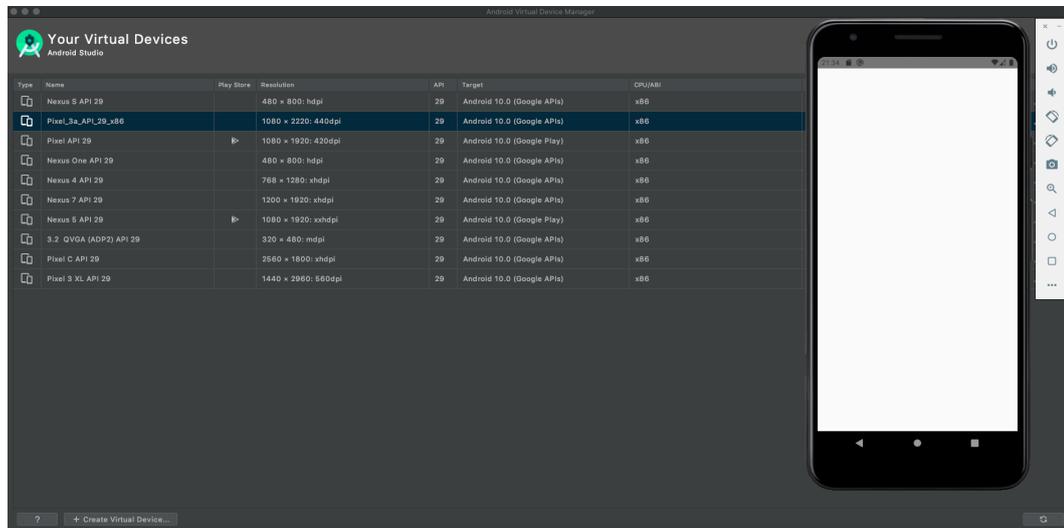
Figura 10 – Android Studio



Fonte: Próprio autor.

### 4.3.4 Dispositivo Android Emulado no AVD Manager - Pixel 3A

Figura 11 – Android Studio



Fonte: Próprio autor.

Conforme ilustrado na figura 11, foi emulado, por meio do AVD Manager, um dispositivo Android Pixel 3A com CPU Intel® Core™ i7-9750H Coffee Lake Refresh, 12MB Cache (2.6 GHz até 4.5 GHz com Intel® Turbo Boost) e com 4GB (2666 MHz) de memória alocada. A decisão de usar emulação foi pensada para poder fazer o uso de diferentes especificações de hardwares.

### 4.3.5 XCode

Conforme ilustrado na figura 12, o Xcode é um ambiente de desenvolvimento integrado e software livre da Apple Inc. para gerenciamento de projetos relacionados com o sistema operacional macOS. Xcode possui ferramentas para o usuário criar e melhorar seus aplicativos.

Figura 12 – XCode



Fonte: Próprio autor.

Por meio do XCode, é possível simular alguns dispositivos IOS, dentre os quais está o iPhone 12, usado neste trabalho.

### 4.3.6 Dispositivo IOS Simulado - iPhone 12 com IOS 14.4

Por meio do XCode, foi simulado um dispositivo iPhone 12, conforme ilustrado na figura 13, com IOS 14.4, CPU Intel® Core™ i7-9750H Coffee Lake Refresh, 12MB Cache (2.6 GHz até 4.5 GHz com Intel® Turbo Boost) e memória alocada de 64GB (2666 MHZ).

Figura 13 – XCode



Fonte: Próprio autor.

### 4.3.7 Heroku

Conforme ilustrado na figura 14, o Heroku é um PaaS (plataforma como serviço) e é um dos pioneiros dos provedores de serviços em nuvem. Antes de entrar em cena, havia um enorme desafio em se criar e configurar servidores, sem falar na desvantagem da hospedagem compartilhada e as várias complexidades que acompanham as estratégias de hospedagem e implantação na nuvem. O Heroku trouxe um sistema que tornou a criação, o dimensionamento e a implantação de aplicativos tão fáceis que não demorou muito tempo para que eles se tornasse um nome familiar na comunidade de desenvolvedores. (BATSCHINSKI, 2021)

Figura 14 – Heroku



Fonte: (HEROKU, 2022)

### 4.3.8 Back4App

Conforme ilustrado na figura 15, o Back4app é uma plataforma de back-end para aplicativos móveis. A empresa automatiza o desenvolvimento de back-end e permite que as empresas levem seus aplicativos ao mercado mais rapidamente e escalem sem problemas de infraestrutura.

Figura 15 – Back4App



Fonte: (INC, 2022)

### 4.3.9 Firebase

Com o emparelhamento do serviço de Cloud Functions e o Firebase Hosting é possível criar APIs REST como microsserviços. O Cloud Functions para Firebase permite executar automaticamente o código de back-end em resposta a solicitações HTTPS. Seu código é

armazenado na nuvem do Google e executado em um ambiente gerenciado. A figura 16 ilustra o logo do serviço.

Figura 16 – Firebase



Fonte: (FIREBASE, 2022)

## 4.4 Carga de Trabalho

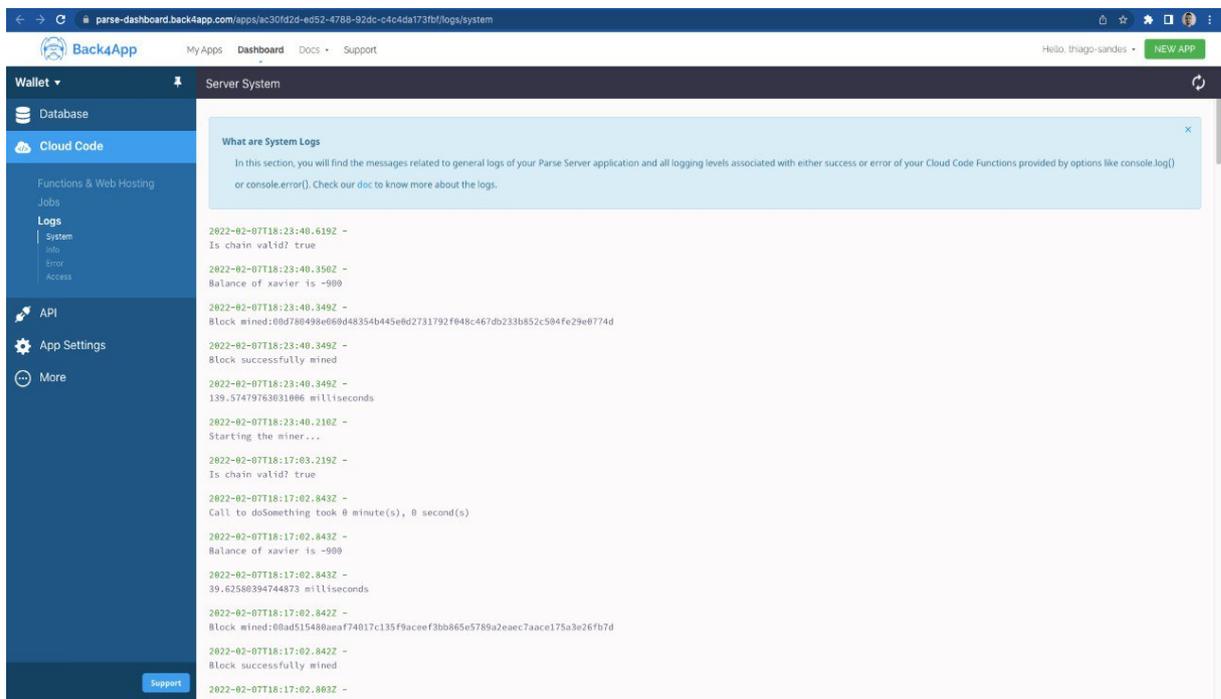
A carga de trabalho utilizada nessa análise de desempenho é uma aplicação móvel que foi codificada utilizando um algoritmo de mineração de blocos de informações de rede blockchain. Nesse sentido, foi codificada para ser uma carteira virtual na qual são variados alguns parâmetros, como o número de transações existentes na rede e a dificuldade.

Dadas as tecnologias utilizadas neste trabalho, utilizou-se das já citadas ferramentas e tecnologias nesta carga de trabalho:

- A Workstation Avell 062 MUV para codificar e gerar o aplicativo móvel de mineração da rede blockchain, a carteira virtual.
- O dispositivo físico Xiaomi Redmi 7 para testar o aplicativo em um dispositivo real.
- Os serviços que serviram como nós de borda para essa carga: Heroku, Back4App e Firebase.

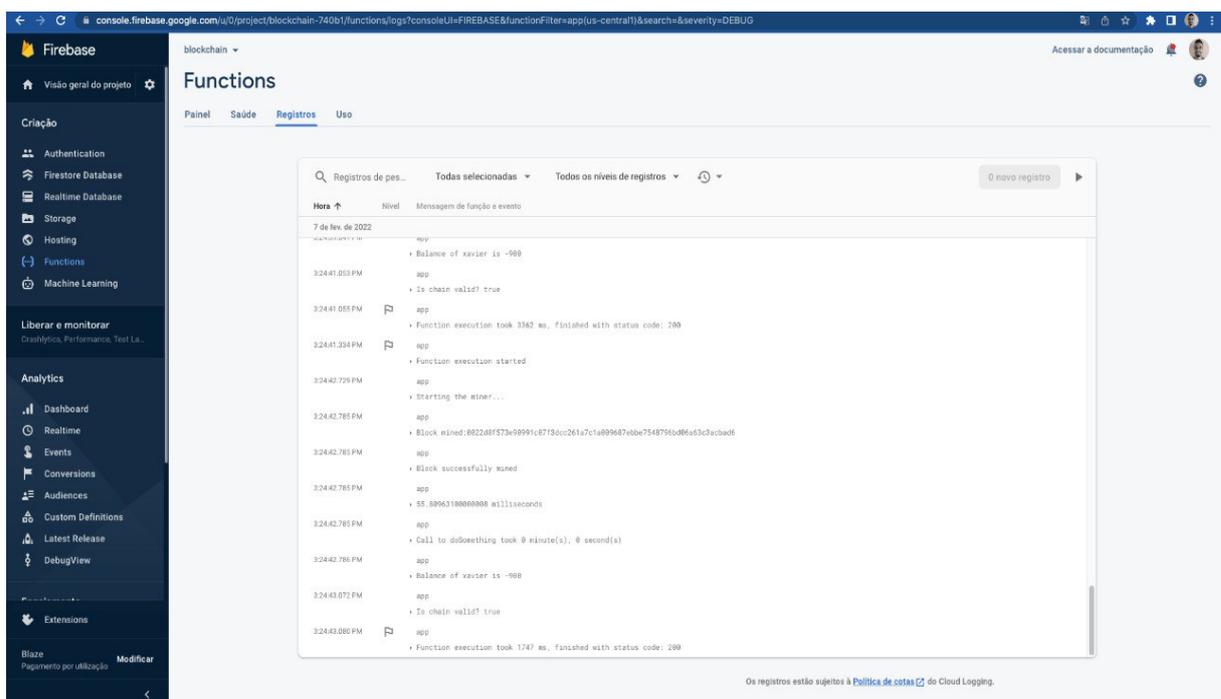
Com fins ilustrativos, seguem imagens do uso dos nós de borda do Back4App e do Firebase (Figura 17 e Figura 18, respectivamente). Nas imagens dessas figuras, é possível ver as informações em tempo de processamento a respeito da execução do processo de mineração que estão ocorrendo neles.

Figura 17 – Interface do nó de borda do Back4App em execução



Fonte: Próprio autor.

Figura 18 – Interface do nó de borda do Firebase em execução



Fonte: Próprio autor.

No final da próxima sessão, será mostrada uma variação da carga de trabalho (carteira virtual) que foi escolhida para essa análise de desempenho: um sistema de votação. Vale ressaltar que deste não foi feita nenhuma análise de desempenho. A análise foi feita na carteira virtual, sendo, portanto, esse sistema a carga de trabalho escolhida. O sistema de votação foi colocado nesse trabalho para ilustrar possíveis aplicabilidades e variações do Mobile Blockchain a partir dos sistemas que hoje são existentes e possíveis de se aplicar.

## 4.5 Métricas

Definir quais serão as métricas utilizadas é importantes para esta análise de desempenho. Com elas, pode-se sistematizar esse processo. Dessa forma, as métricas consideradas relevantes foram:

- **Consumo de CPU e memória do dispositivo físico:** estas medidas devem sinalizar a eficiência do dispositivo físico usado neste trabalho diante de sua capacidade computacional;
- **Consumo de bateria:** essa medida é mensurada no dispositivo físico utilizado neste trabalho;
- **Número de transações:** essa medida indica quantidade de vezes em que um novo bloco de informação foi adicionado na rede blockchain;
- **Dificuldade:** a dificuldade é uma medida de como é difícil extrair um bloco de informação ou, em termos mais técnicos, encontrar um *hash* abaixo de um determinado alvo;
- **Tempo:** o tempo é utilizado para medir a performance de acordo com a variação das outras métricas utilizadas neste trabalho.

### 4.5.1 Sobre a métrica dificuldade no benchmark

Um ponto importante para se enfatizar sobre a métrica dificuldade é que ela influencia diretamente no tempo de processamento da rede blockchain. A fim visualizar melhor esse comportamento, a figura 19 ilustra algumas partes do código usado neste trabalho para implementação da rede mobile blockchain. Esse código foi gerado a partir da modificação de uma implementação de rede blockchain obtida no github<sup>1</sup>.

Há um construtor na classe Blockchain em que é definido, por padrão, a dificuldade 2 e alguns outros dados úteis para a rede blockchain, como o número de transações. Além disso, há a função *mineBlock* responsável por fazer o cálculo da dificuldade por meio de comparação de hashes dos blocos enquanto eles forem diferentes. Quando os hashes forem iguais, o cálculo finaliza. Por isso, quão maior for a dificuldade, mais demorado vai ser para que os hashes atinjam

<sup>1</sup> <https://github.com/Savjee/SavjeeCoin/blob/master/src/blockchain.js>

```
mineBlock(difficulty) {
  while (
    this.hash.substring(0, difficulty) !== Array(difficulty + 1).join('0')
  ) {
    this.nonce++;
    this.hash = this.calculateHash();
  }

  console.log('Block mined:' + this.hash);
}

class Blockchain {
  constructor() {
    this.chain = [this.createGenesisBlock()];
    this.difficulty = 2;
    this.pendingTransactions = [];
    this.miningReward = 100;
  }
}
```

Figura 19 – Dificuldade no código blockchain

uma concordância entre si, já que o número de dificuldade influencia diretamente no tamanho do hash, como demonstrado na figura 19.

# 5

## Análise dos resultados

Este capítulo apresenta o *benchmark* discutido no capítulo anterior. Usando os dispositivos e as tecnologias já citadas, busca-se validar se o uso da computação de borda melhora o desempenho do mobile blockchain no que tange ao tempo gasto para o processo de mineração. Nesse contexto, são levados em consideração dois parâmetros: número de transações e o tempo em segundos. Além disso, esses parâmetros são analisados em dificuldades 2, 3 e 4.

### 5.1 Cenário de arquitetura móvel sem computação de borda

Figura 20 – Cenário de arquitetura móvel sem computação de borda



Fonte: Próprio autor.

Conforme ilustrado na figura 20, dentre os experimentos realizados em arquitetura móvel sem computação de borda, estão os realizados com o dispositivo físico Xiaomi Redmi 7, o com o dispositivo Android emulado Pixel 3A e o com o dispositivo IOS simulado iPhone 12. O device físico Xiaomi Redmi 7 foi ligado à Workstation apenas para instalação do aplicativo blockchain. Depois de instalado o aplicativo da carteira virtual, não há mais necessidade do dispositivo estar conectado à Workstation. Os outros dois dispositivos, por serem emulação e simulação de dispositivos reais, necessariamente foram executados na Workstation.

### 5.1.1 Xiaomi Redmi 7

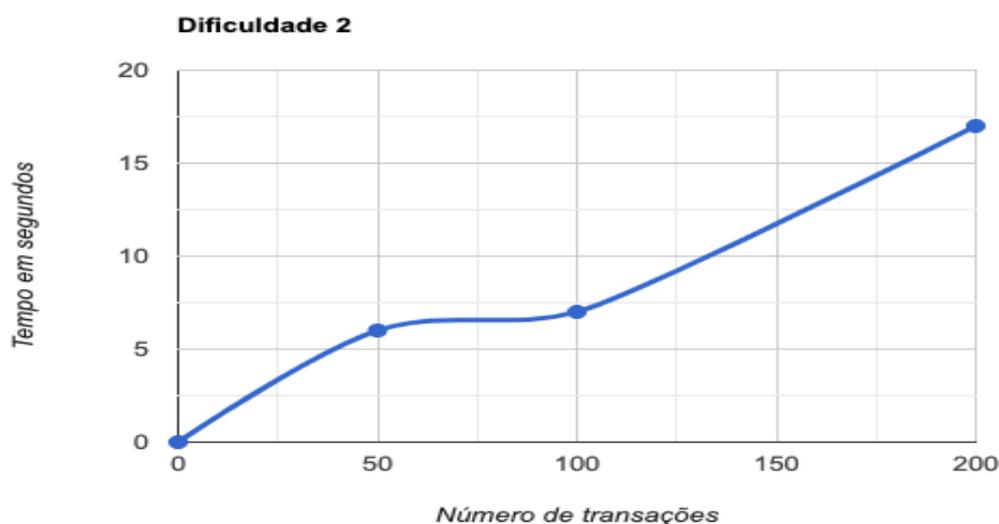
A seguir, resultados dos experimentos no dispositivo físico Xiaomi Redmi 7. Especificamente no dispositivo físico, são adicionados os parâmetros de consumo de CPU e memória, bem como de bateria. O propósito é comparar posteriormente esses mesmos valores utilizando um serviço de nó de borda com o caso em que foi feito apenas processamento local.

#### 5.1.1.1 Dificuldade 2

Tabela 4 – Impacto do número de transações - dificuldade 2 - Xiaomi Redmi 7

Número de transações	Tempo em segundos	Consumo de CPU	Consumo de memória
10	0s	103%	6.2%
50	6s	193%	6.3%
100	7s	210%	6.6%
200	17s	210%	6.9%

Figura 21 – Número de transações por tempo em segundos com dificuldade 2 - Xiaomi Redmi 7

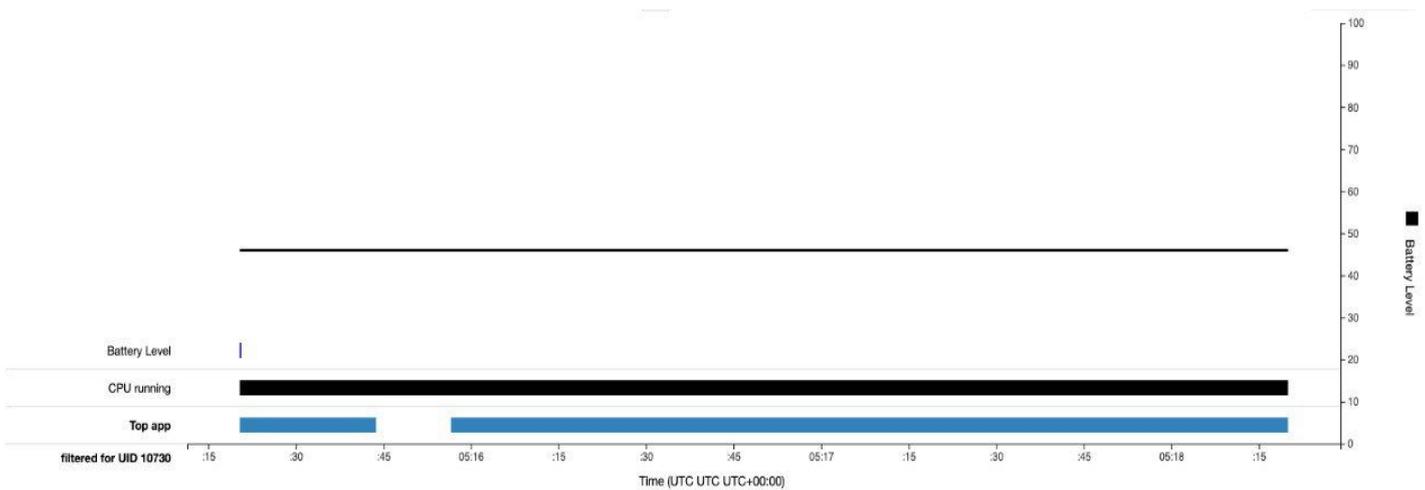


Fonte: Próprio autor.

A figura 21 ilustra o número de transações por tempo em segundos, na dificuldade 2 para o dispositivo físico Xiaomi Redmi 7. Um comportamento evidente e esperado é o aumento do tempo à medida que o número de transações aumenta.

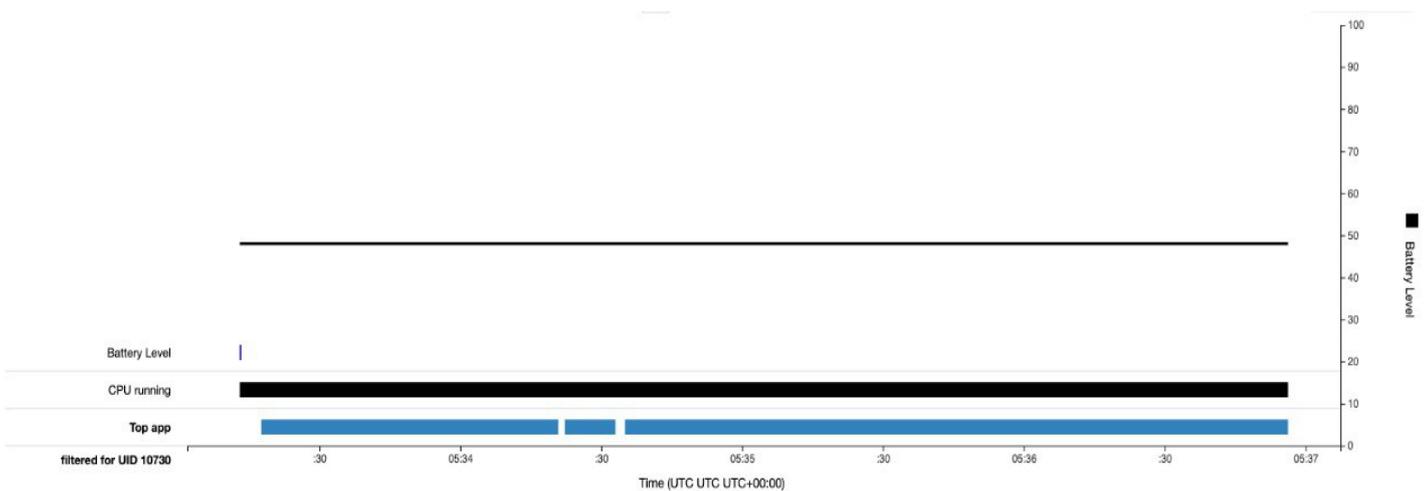
Nas figuras 22, 23, 24 e 25 são dispostos três parâmetros no eixo X, o qual indica a passagem do tempo, e um parâmetro no eixo Y, o qual indica a porcentagem da bateria do *device* físico. No eixo X, é disposto o momento em que há mudança no nível da bateria, quando a CPU está em execução e quando o aplicativo é o principal a ser executado no *device* físico. O Eixo Y indica a porcentagem do medidor da bateria, a qual pode variar no decorrer do tempo.

Figura 22 – Dificuldade 2 - consumo da bateria com 10 transações



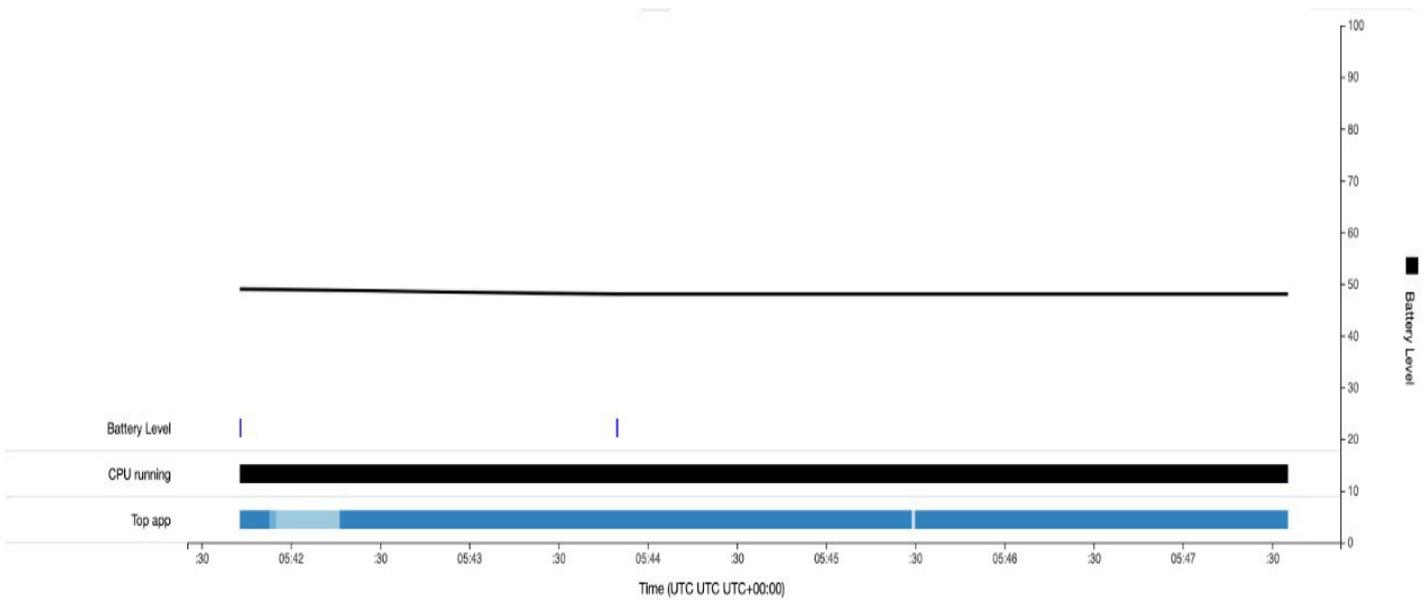
Fonte: Próprio autor.

Figura 23 – Dificuldade 2 - consumo da bateria com 50 transações



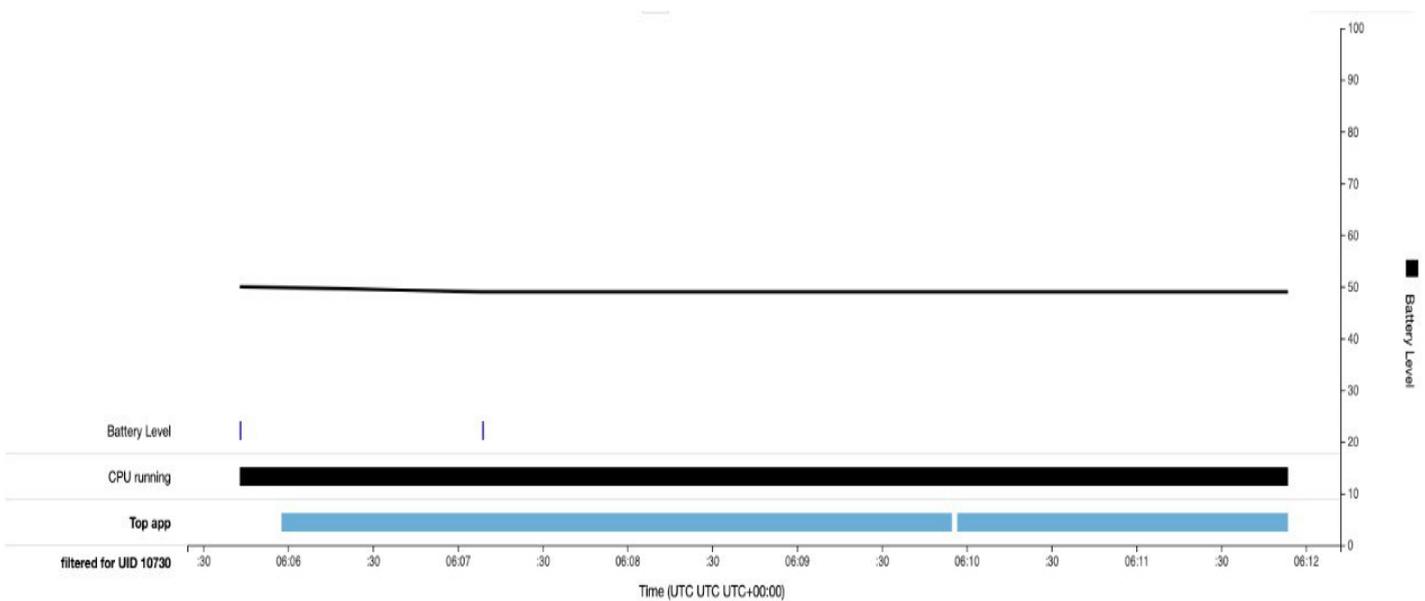
Fonte: Próprio autor.

Figura 24 – Dificuldade 2 - consumo da bateria com 100 transações



Fonte: Próprio autor.

Figura 25 – Dificuldade 2 - consumo da bateria com 200 transações



Fonte: Próprio autor.

Para a dificuldade 2, como demonstrado nas figuras 22, 23, 24 e 25, as mudanças de nível de bateria foram sutis e pouco perceptíveis dado que a dificuldade baixa não exige muito processamento do dispositivo físico. Essas mudanças ocorrem onde existem a barra vertical de cor azul, no parâmetro "Battery Level". Contudo, à medida que a dificuldade aumentar e o

número de transações aumentarem também, esse comportamento não permanece e será possível ver mais nitidamente o gasto da bateria de acordo com o processamento do mobile blockchain.

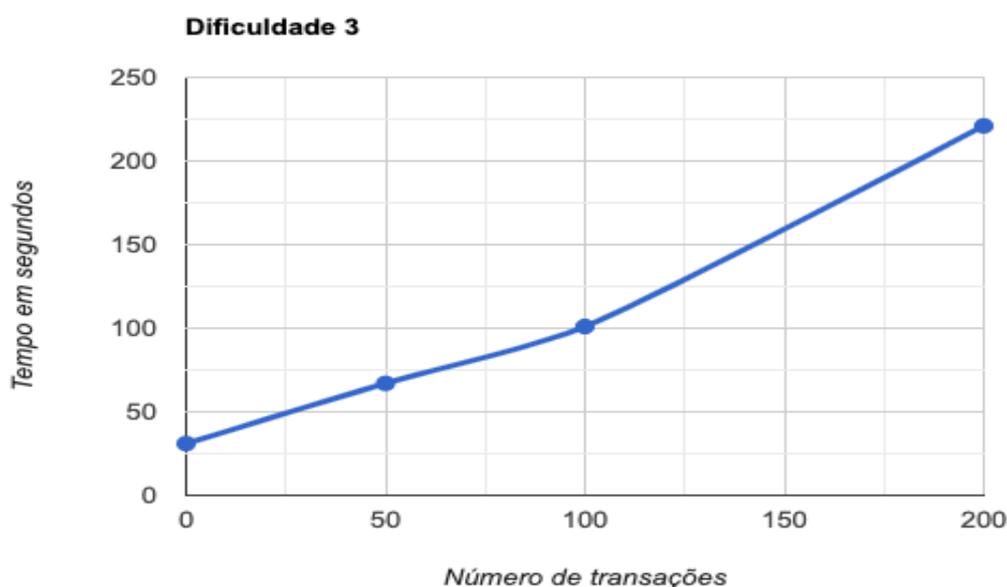
### 5.1.1.2 Dificuldade 3

Na dificuldade 3, como demonstrado na tabela 5, se tem uma elevação considerável do tempo gasto em segundos e do consumo de memória para processamento local do mobile blockchain dado o aumento dos números de transações. O consumo da CPU também se eleva, mas não tanto quanto os outros parâmetros. A figura 26 também demonstra a elevação do tempo gasto nas transações.

Tabela 5 – Impacto do número de transações - dificuldade 3 - Xiaomi Redmi 7

Número de transações	Tempo em segundos	Consumo de CPU	Consumo de memória
10	31s	200%	6.2%
50	67s	210%	6.3%
100	101s	210%	7.0%
200	221s	210%	7.4%

Figura 26 – Número de transações por tempo em segundos com dificuldade 3 - Xiaomi Redmi 7

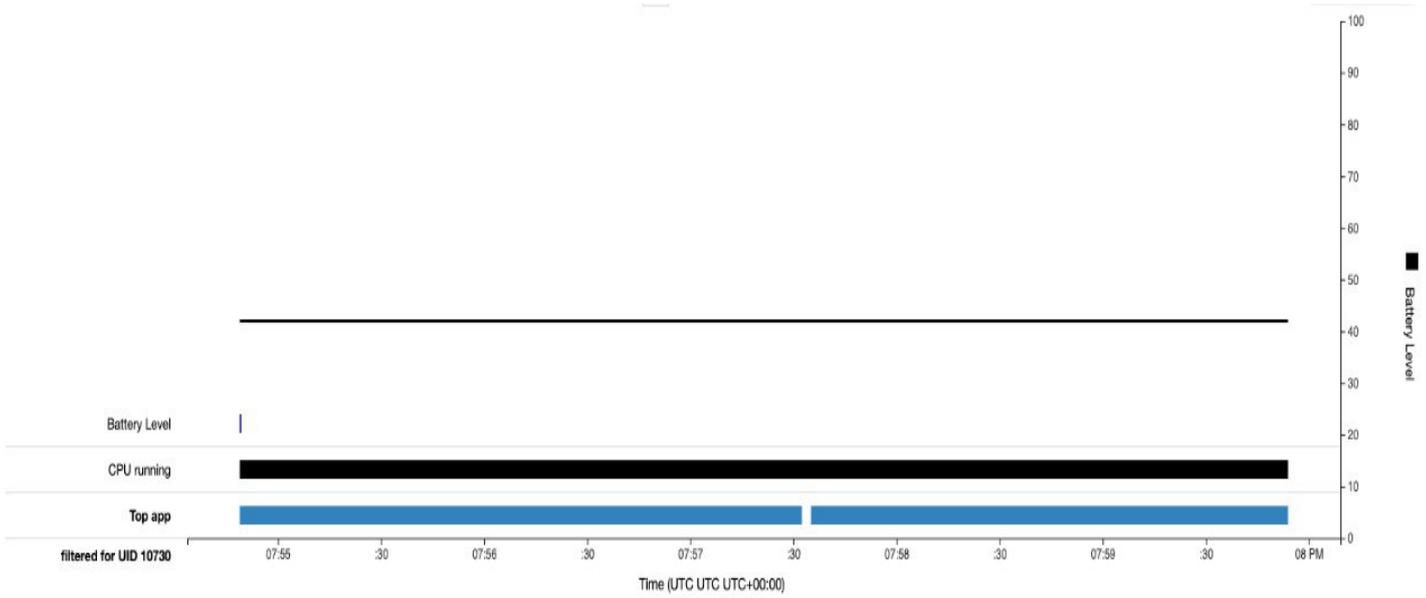


Fonte: Próprio autor.

Nas figuras 27, 28, 29 e 30 ainda não é possível notar um grau considerável de redução do nível da bateria durante o processamento da rede blockchain. Contudo, a dificuldade 4 já começa a deixar evidente que o aumento do consumo é proporcional ao número da dificuldade.

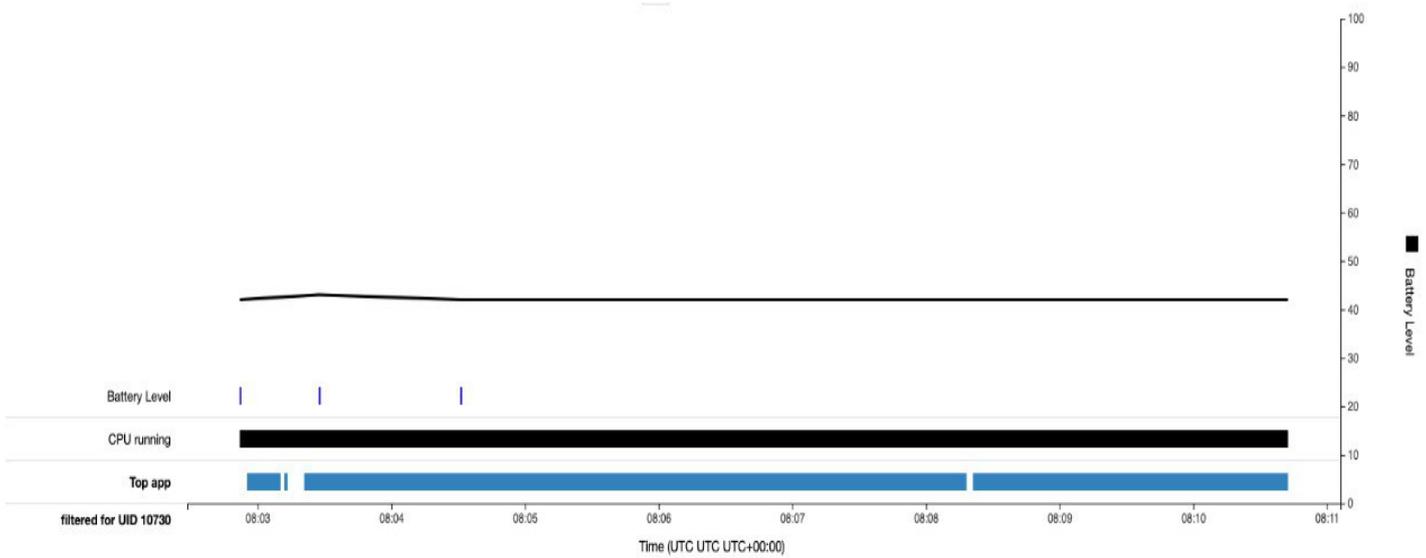
Se em algum momento o nível da bateria sobe, isso se deve pelo fato do dispositivo ter sido conectado a uma fonte de alimentação por um momento.

Figura 27 – Dificuldade 3 - consumo da bateria com 10 transações



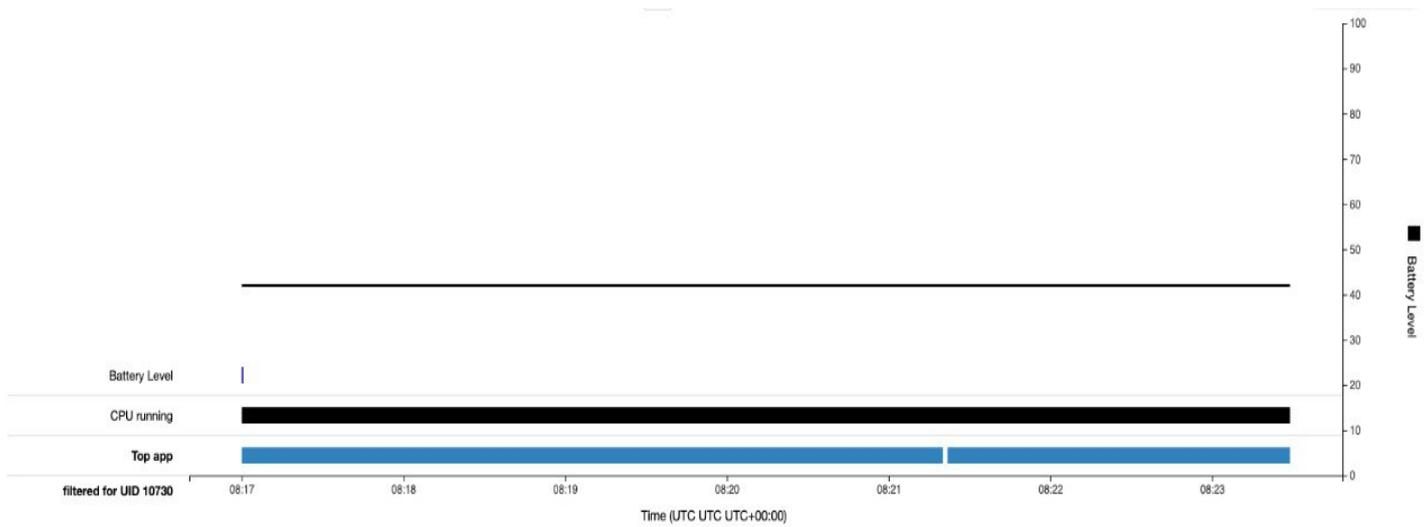
Fonte: Próprio autor.

Figura 28 – Dificuldade 3 - consumo da bateria com 50 transações



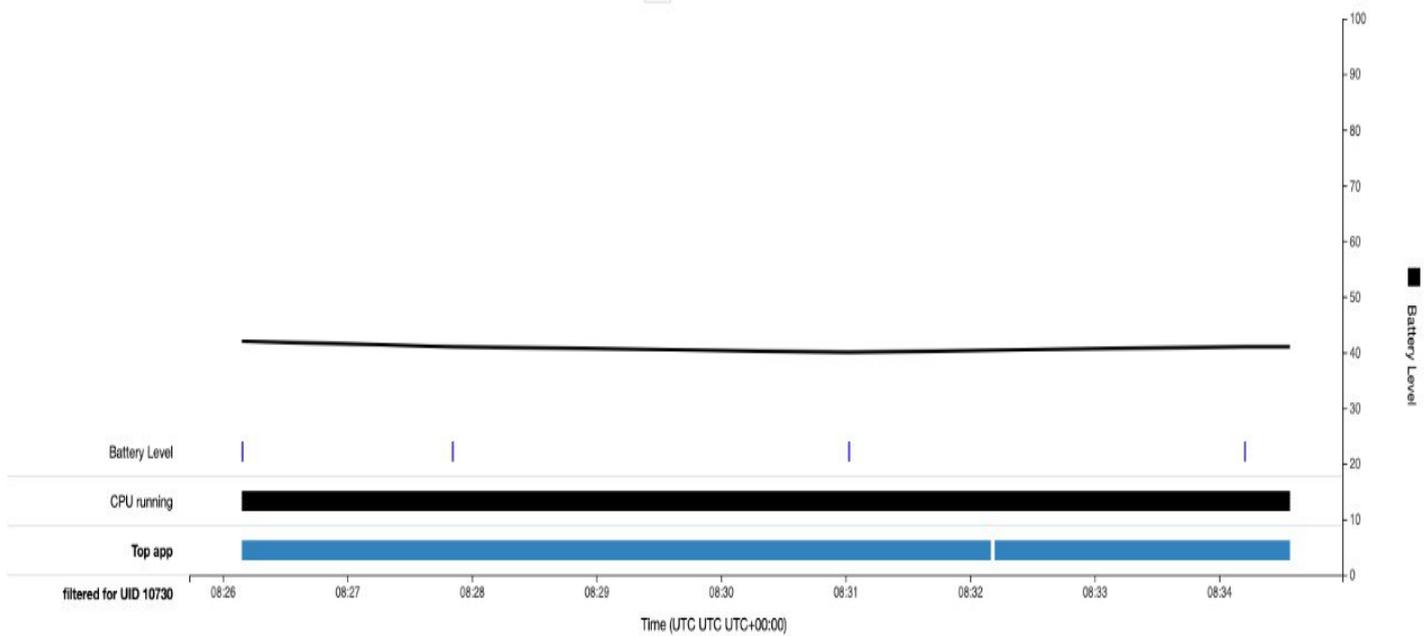
Fonte: Próprio autor.

Figura 29 – Dificuldade 3 - consumo da bateria com 100 transações



Fonte: Próprio autor.

Figura 30 – Dificuldade 3 - consumo da bateria com 200 transações



Fonte: Próprio autor.

### 5.1.1.3 Dificuldade 4

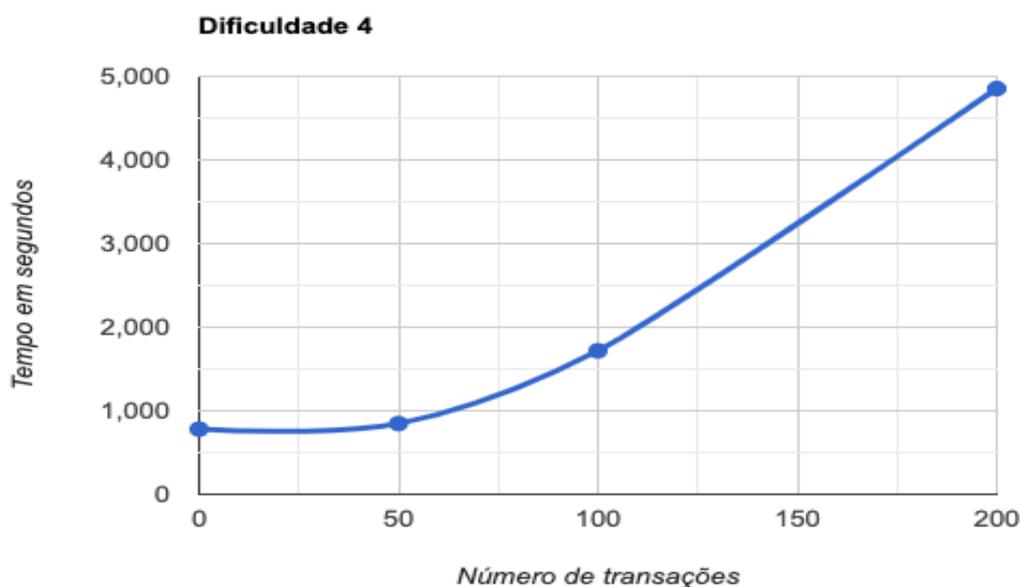
Na dificuldade 4, as características principais e relevantes para esse trabalho começam a se tornar evidentes. Além do aumento considerável do tempo em segundos, mostrado na tabela 6

e evidenciado na figura 31, do consumo de CPU e do consumo de memória, também mostrados na tabela 6.

Tabela 6 – Impacto do número de transações - dificuldade 4 - Xiaomi Redmi 7

Número de transações	Tempo em segundos	Consumo de CPU	Consumo de memória
10	780s	200%	6.9%
50	847s	303%	7.4%
100	1717s	412%	8.3%
200	4854s	559%	8.8%

Figura 31 – Número de transações por tempo em segundos com dificuldade 4 - Xiaomi Redmi 7

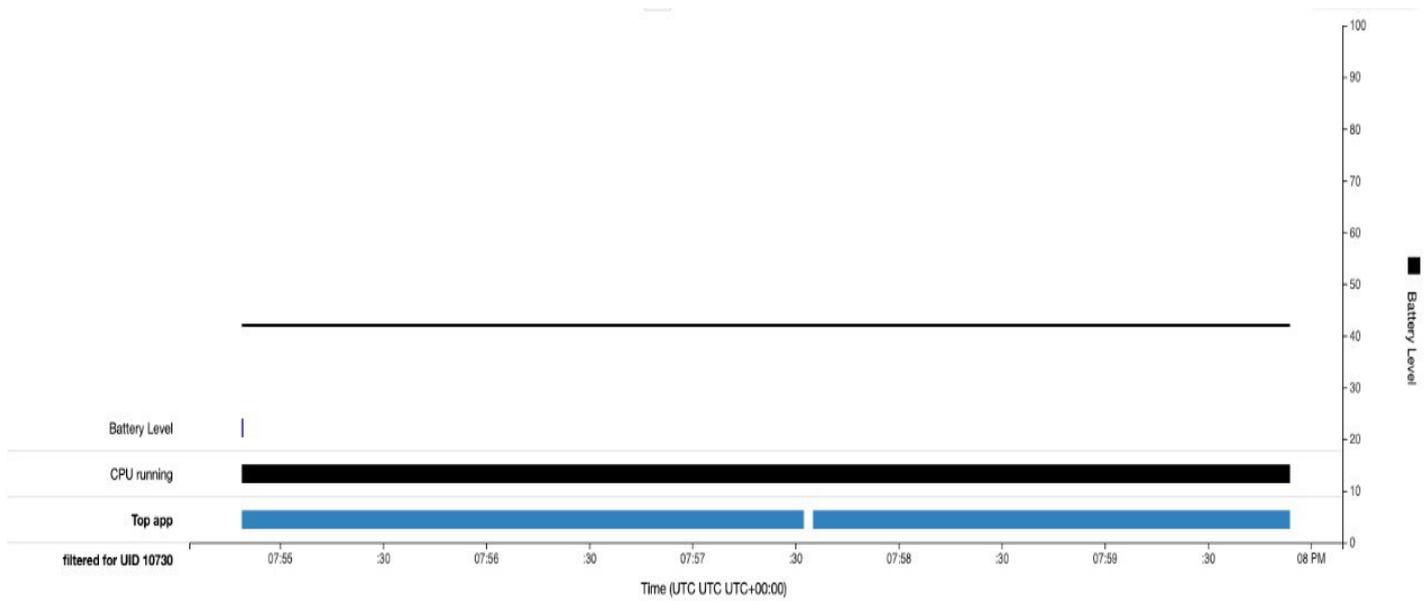


Fonte: Próprio autor.

Como citado anteriormente, há momentos em que o nível de bateria sobe. Isso se dá porque o *device* físico foi ligado na *workstation* para poder gerar esses gráficos de nível de bateria. O ponto de atenção para essa pesquisa é quando o nível da bateria desce, pois indica o consumo da bateria dado o processamento da rede blockchain que está sendo executado no *device* físico.

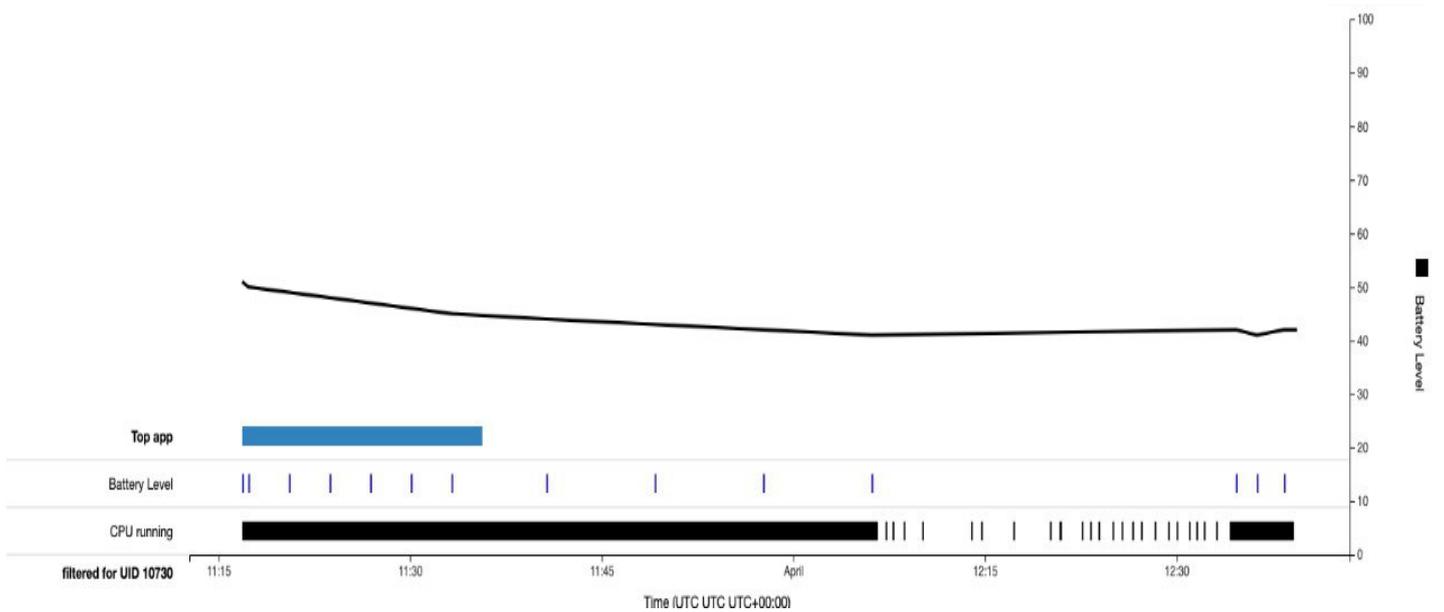
A figura 32 mostra o nível de bateria constante. A figura 33, com 50 transações na dificuldade 4, mostra uma queda considerável do nível de bateria. A queda é de aproximadamente 10 pontos de carga, saindo de 50 para 40.

Figura 32 – Dificuldade 4 - consumo da bateria com 10 transações



Fonte: Próprio autor.

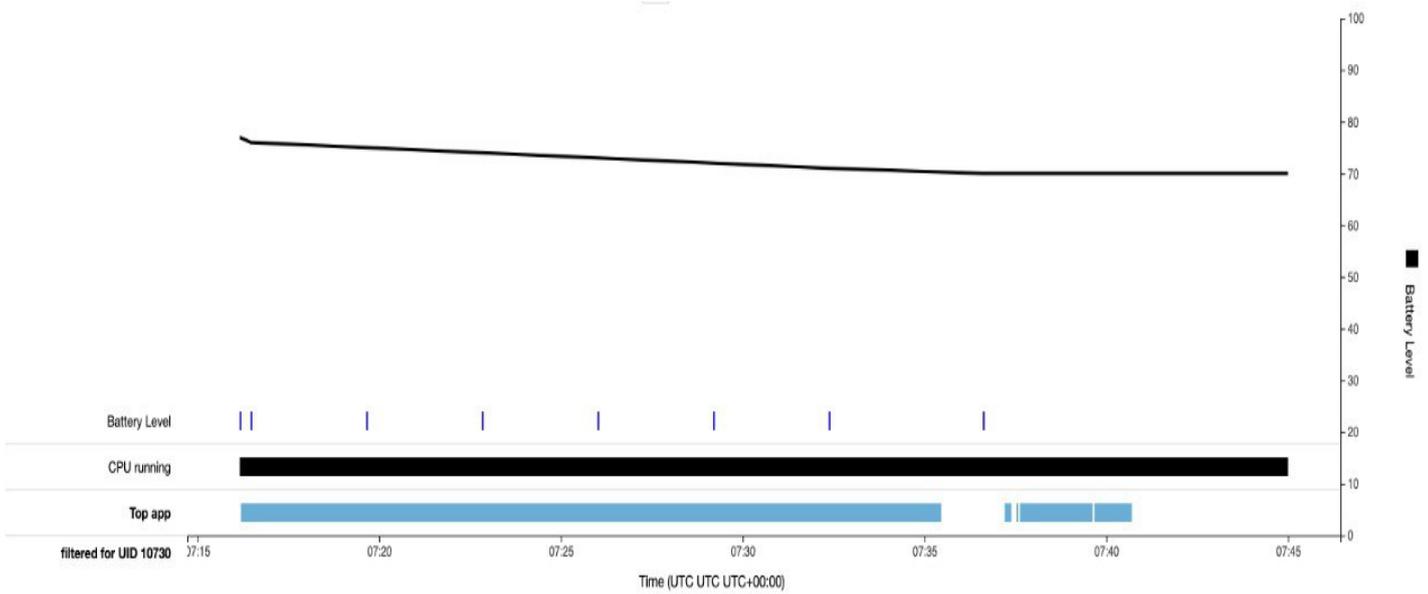
Figura 33 – Dificuldade 4 - consumo da bateria com 50 transações



Fonte: Próprio autor.

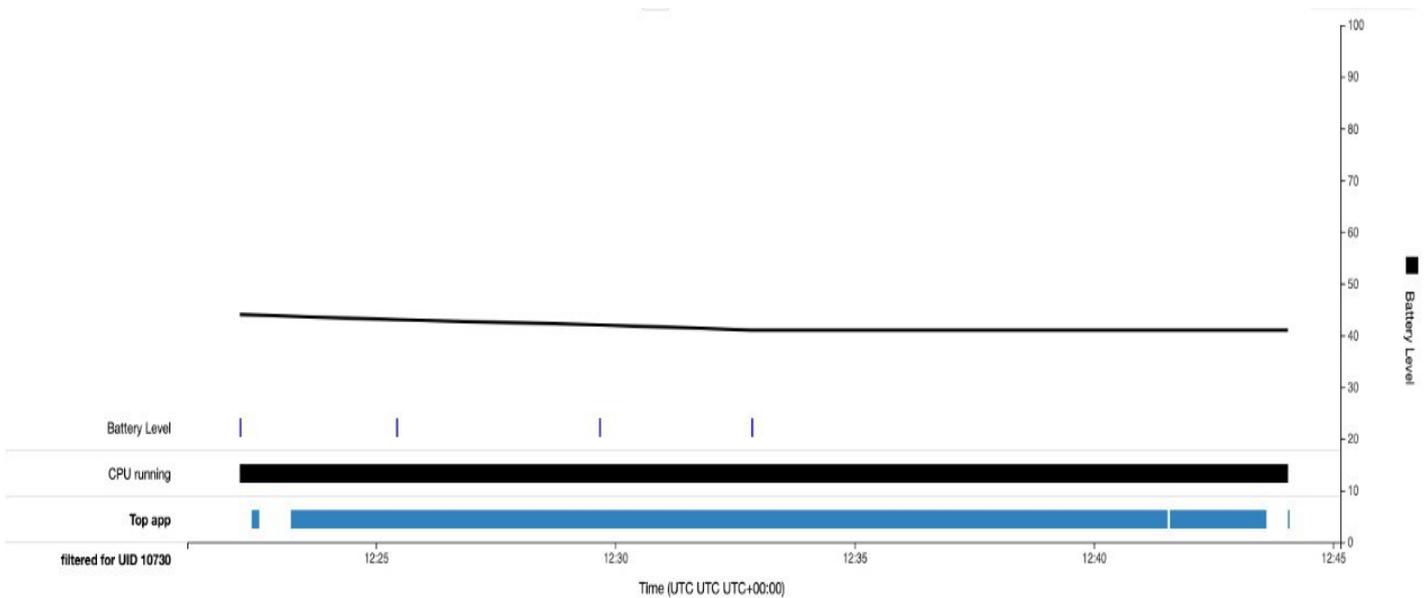
A figura 34 e a 35 também mostram o nível de bateria descendo. Contrariando a expectativa, percebe-se que o nível da bateria diminui também, mas não tanto quando mostrado na figura 33. Contudo, já se começa a perceber o comportamento de gasto de bateria do device físico de acordo com o aumento da dificuldade.

Figura 34 – Dificuldade 4 - consumo da bateria com 100 transações



Fonte: Próprio autor.

Figura 35 – Dificuldade 4 - consumo da bateria com 200 transações



Fonte: Próprio autor.

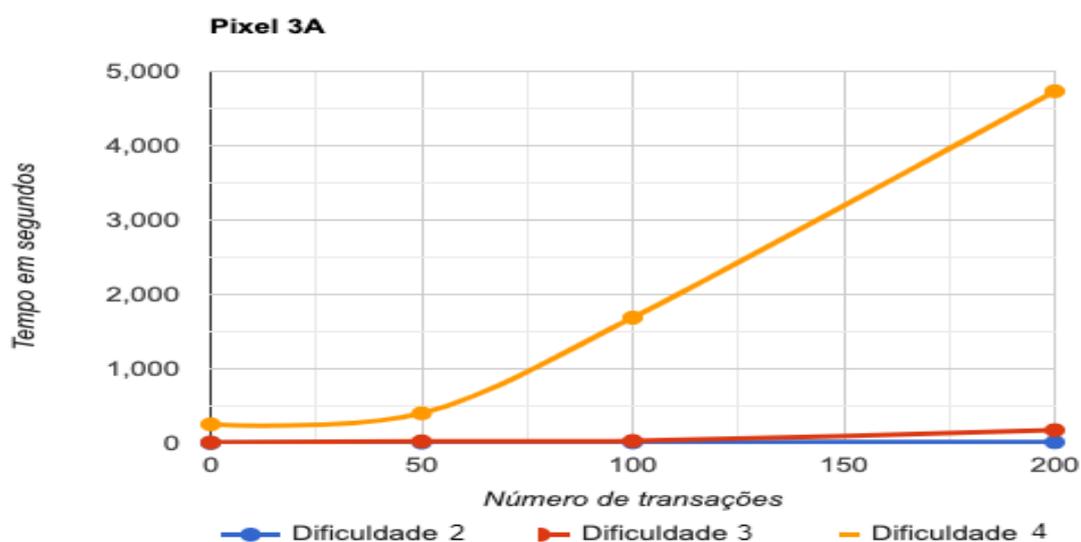
### 5.1.2 Pixel 3A

A seguir, resultados dos experimentos no dispositivo emulado Pixel 3A são demonstrados na tabela 7 e na figura 36.

Tabela 7 – Impacto do número de transações - dificuldade 2, 3 e 4 - Pixel 3A

Número de transações	Tempo - Dif. 2	Tempo - Dif. 3	Tempo - Dif. 4
10	4s	10s	254s
50	9s	25s	402s
100	12s	30s	1688s
200	14s	175s	4732s

Figura 36 – Número de transações por tempo em segundos com dificuldade 2, 3 e 4 - Pixel 3A



Fonte: Próprio autor.

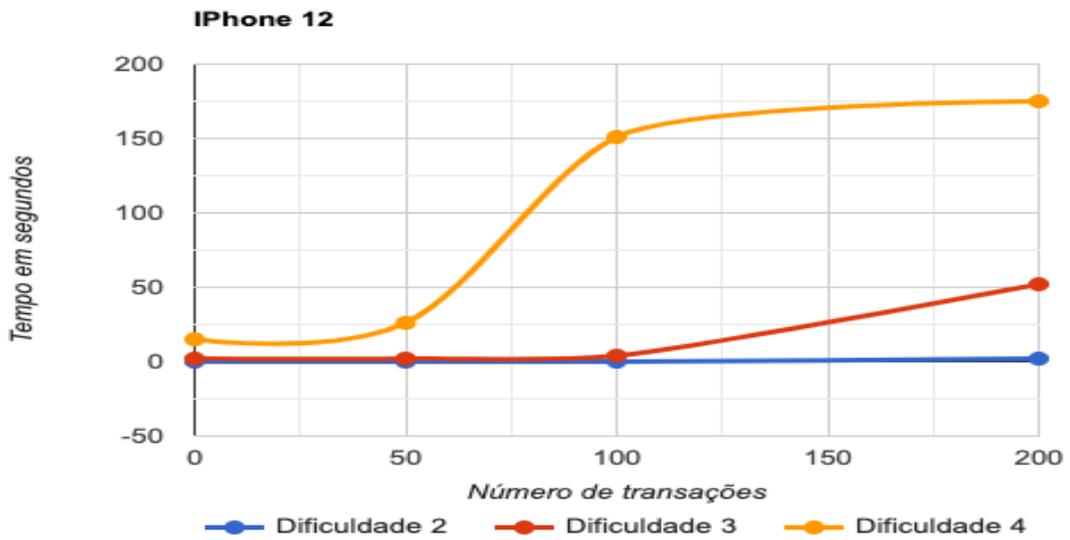
### 5.1.3 iPhone 12

Da mesma forma, resultados dos experimentos no dispositivo simulado iPhone 12 são demonstrados na tabela 8 e na figura 37.

Tabela 8 – Impacto do número de transações - dificuldade 2, 3 e 4 - iPhone 12

Número de transações	Tempo - Dif. 2	Tempo - Dif. 3	Tempo - Dif. 4
10	0s	2s	15s
50	0s	2s	26s
100	0s	4s	151s
200	2s	52s	175s

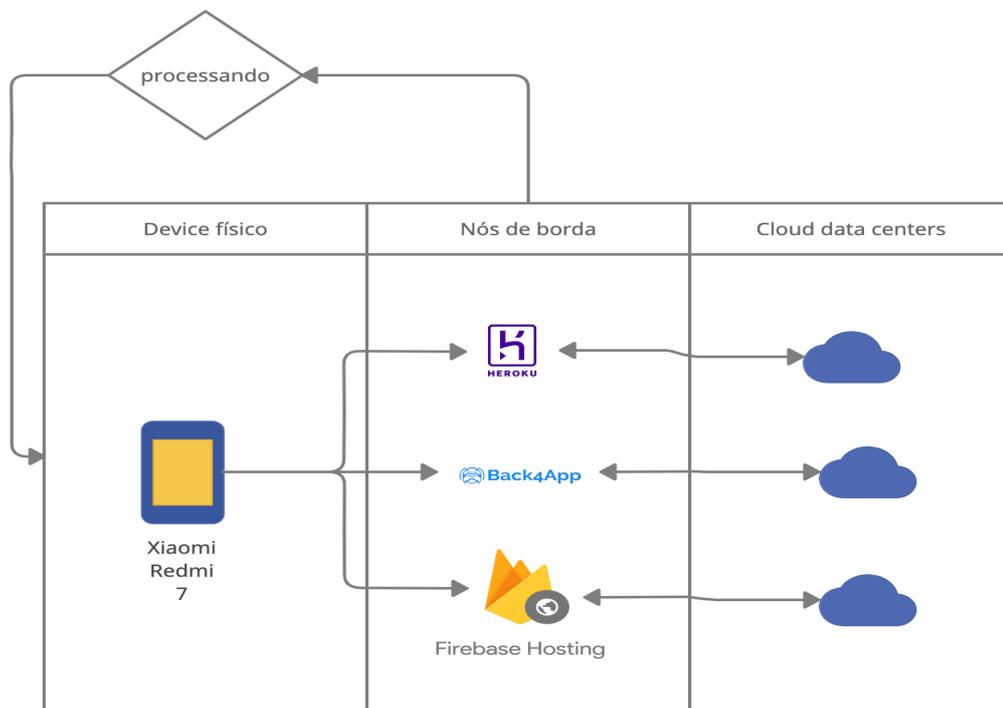
Figura 37 – Número de transações por tempo em segundos com dificuldade 2, 3 e 4 - Iphone 12



Fonte: Próprio autor.

## 5.2 Cenário de arquitetura de computação de borda móvel

Figura 38 – Cenário de arquitetura de computação de borda móvel



Fonte: Próprio autor.

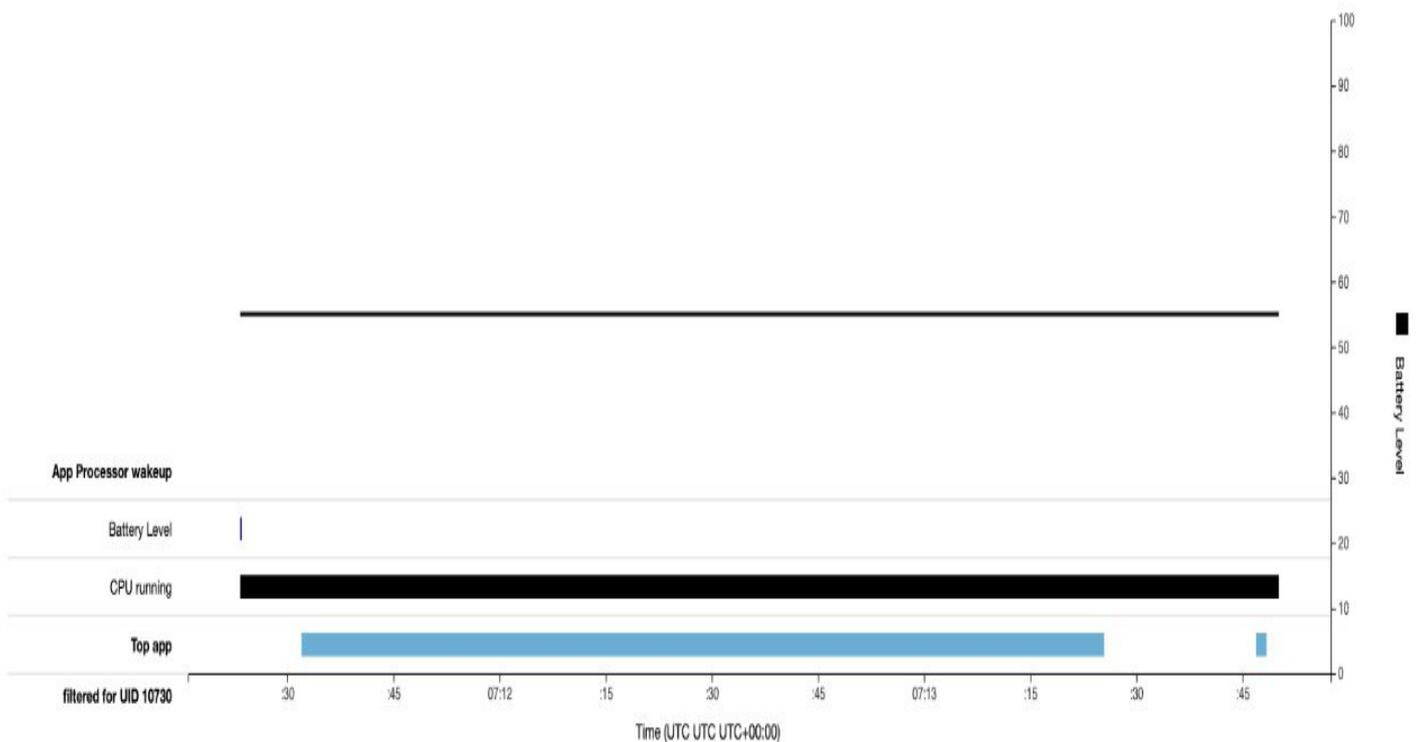
Dentre os experimentos realizados em arquitetura móvel com computação de borda, ilustrada na figura 38, estão os realizados com o dispositivo físico Xiaomi Redmi 7 em conjunto com os serviços que constituiram o nó de borda auxiliador no processo de mineração do blockchain: Heroku, Back4App e Firebase. Nesse sentido, o consumo de CPU e de memória **para qualquer serviço e para qualquer dificuldade** vai permanecer constante dado que todo o processamento da rede blockchain é realizado no nó de borda. A tabela 9 ilustra isso.

Tabela 9 – Xiaomi Redmi 7 - Uso de CPU e memória em cenário de arquitetura de computação de borda móvel

Número de transações	Consumo de CPU	Consumo de memória
10	100%	5.6%
50	100%	5.6%
100	100%	5.6%
200	100%	5.6%

Pode-se tomar como base também o seguinte consumo de bateria para os próximos serviços com suas variações de dificuldade. Dado que o maior processamento ocorrerá no nó de borda e não mais no device físico, o consumo de bateria deve permanecer constante para qualquer serviço e qualquer dificuldade, como ilustrado na figura 39.

Figura 39 – Uso dos nós de borda - consumo base da bateria do device físico



Fonte: Próprio autor.

Nesse sentido, pode-se tomar os outros valores de performance, que vão de fato variar (número de transações e tempo em segundos), obtidos nas três plataformas, compará-los entre si e compará-los com os valores obtidos na arquitetura sem o uso do nó de borda, mantendo o consumo de bateria base e os mesmos valores de consumo de CPU e memória já mostrados para essa arquitetura com nós de borda.

### 5.2.1 Heroku

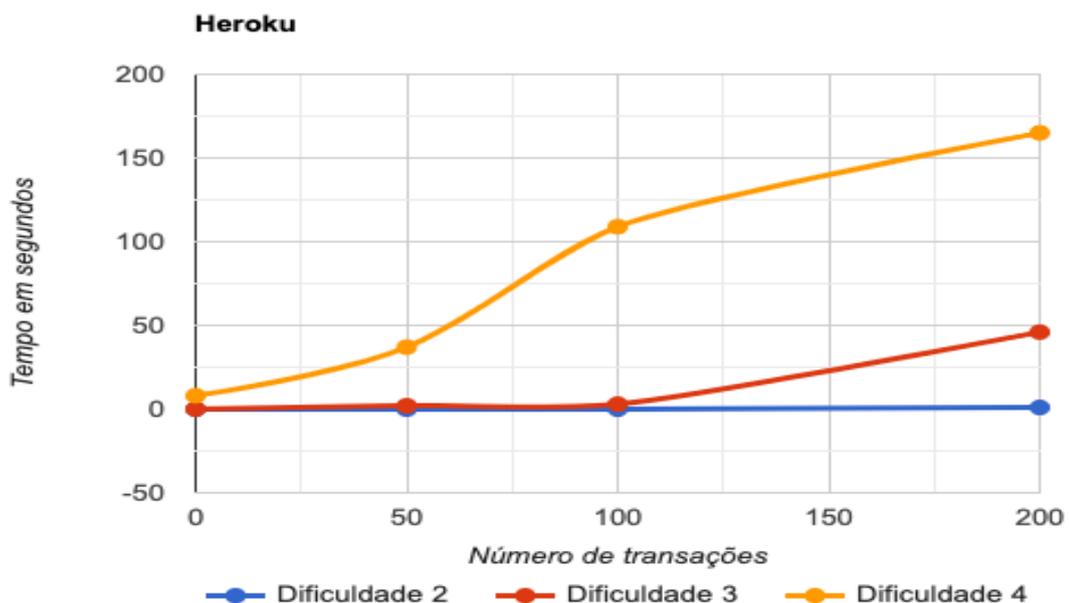
A seguir, a tabela 10 demonstra os resultados dos experimentos realizados no dispositivo físico Xiaomi Redmi 7 com o auxílio do nó de borda proveniente da plataforma Heroku.

Tabela 10 – Impacto do número de transações - dificuldade 2, 3 e 4 - Heroku

Número de transações	Tempo - Dif. 2	Tempo - Dif. 3	Tempo - Dif. 4
10	0s	0s	8s
50	0s	2s	37s
100	0s	3s	109s
200	1s	46s	165s

Na figura 40, nota-se que o maior tempo é alcançado na dificuldade 4, com 200 transações e o menor na dificuldade 2 e 3, com 10 transações.

Figura 40 – Número de transações por tempo em segundos com dificuldade 2, 3 e 4 - Heroku



Fonte: Próprio autor.

## 5.2.2 Back4App

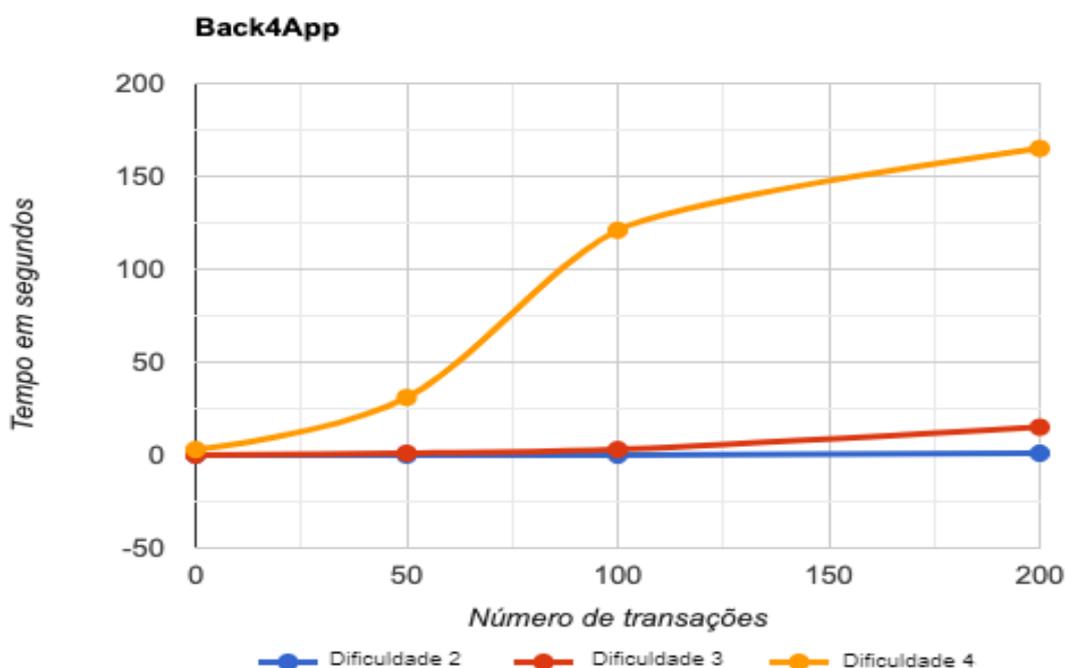
A seguir, a tabela 11 demonstra os resultados dos experimentos realizados no dispositivo físico Xiaomi Redmi 7 com o auxílio do nó de borda proveniente da plataforma Back4App.

Tabela 11 – Impacto do número de transações - dificuldade 2, 3 e 4 - Back4App

Número de transações	Tempo - Dif. 2	Tempo - Dif. 3	Tempo - Dif. 4
10	0s	0s	3s
50	0s	1s	31s
100	0s	3s	121s
200	1s	15s	165s

Na figura 41, também nota-se que o maior tempo é alcançado na dificuldade 4, com 200 transações e o menor na dificuldade 2 e 3, com 10 transações. O comportamento é parecido com o do Heroku, nesse sentido.

Figura 41 – Número de transações por tempo em segundos com dificuldade 2, 3 e 4 - Back4App



Fonte: Próprio autor.

## 5.2.3 Firebase

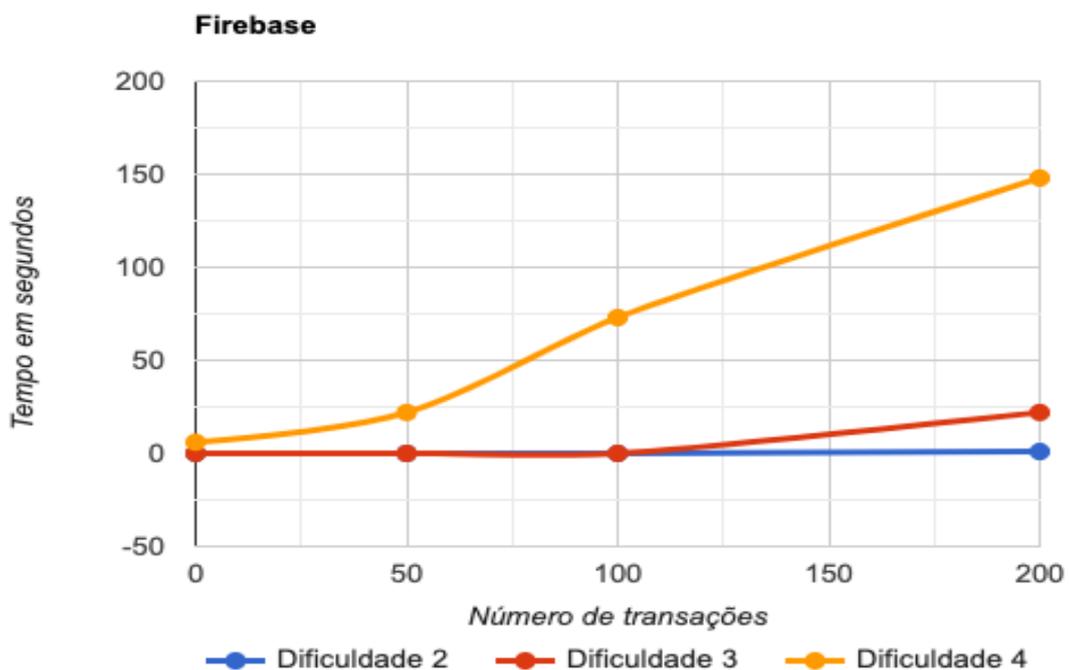
A seguir, a tabela 12 demonstra os resultados dos experimentos realizados no dispositivo físico Xiaomi Redmi 7 com o auxílio do nó de borda proveniente da plataforma Firebase. Além

disso, a figura 42 demonstra o comportamento já visualizado nos serviços anteriores: maior tempo na maior dificuldade e no maior número de transações.

Tabela 12 – Impacto do número de transações - dificuldade 2, 3 e 4 - Firebase

Número de transações	Tempo - Dif. 2	Tempo - Dif. 3	Tempo - Dif. 4
10	0s	0s	6s
50	0s	0s	22s
100	0s	0s	73s
200	1s	22s	148s

Figura 42 – Número de transações por tempo em segundos com dificuldade 2, 3 e 4 - Firebase



Fonte: Próprio autor.

## 5.3 Comparativo de performance entre as duas arquiteturas

### 5.3.1 Tempo e Número de Transações

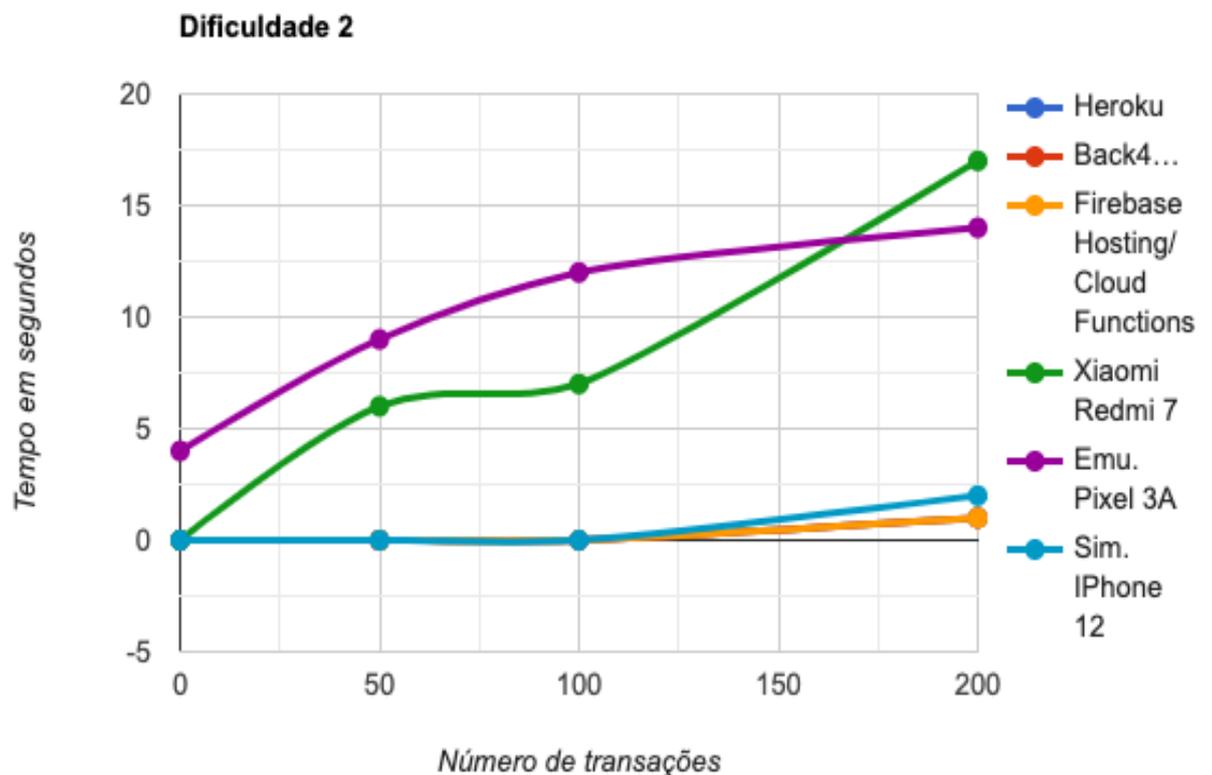
Ainda, pode-se fazer o comparativo de performance colocando o tempo atingido por cada device usado sem o auxílio da computação de borda e o tempo atingido com o uso do Xiaomi Redmi 7 que utilizou a arquitetura de borda móvel para cada dificuldade, variando o número de transações de 10 a 200.

### 5.3.1.1 Dificuldade 2

Na figura 43 é possível analisar o comportamento dos dispositivos e tecnologias envolvidos no processamento da rede blockchain desse benchmark para a dificuldade 2. As variáveis são o tempo em segundos, representado dessa vez pelo eixo X e o número de transações, representado pelo eixo Y.

Ainda, é possível notar que o dispositivo Xiaomi Redmi 7, sem o auxílio de computação de borda e representado na cor roxa, é o device que mais gastou tempo no processo de mineração da rede blockchain. De outro modo, o uso do Firebase Hosting e das Cloud Functions foi o que mais se mostrou eficiente (gastando o menor tempo possível) no processo de mineração, representado pela cor verde. Esse comportamento tende a se repetir nas demais dificuldades 3 e 4, representadas pelas figuras 44 e 45 respectivamente, apenas com poucas variações.

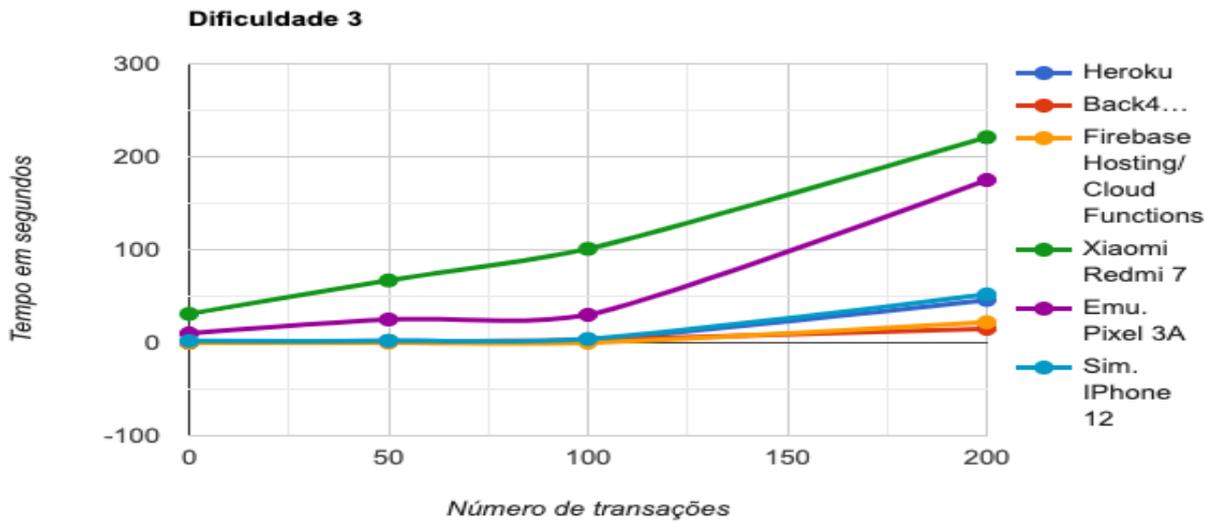
Figura 43 – Comparativo entre arquiteturas - número de transações por tempo em segundos com dificuldade 2



Fonte: Próprio autor.

### 5.3.1.2 Dificuldade 3

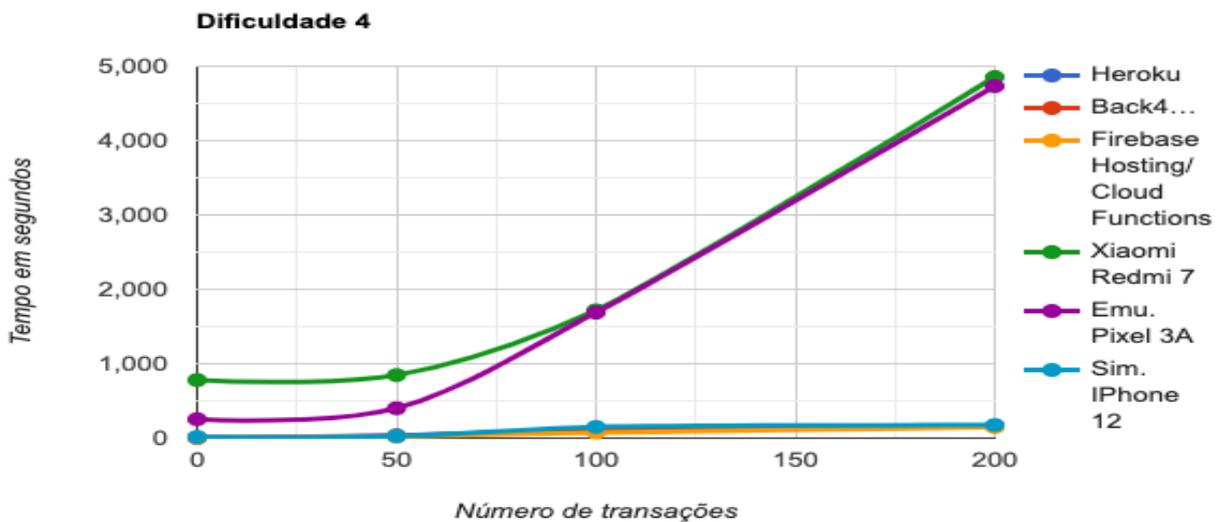
Figura 44 – Comparativo entre arquiteturas - número de transações por tempo em segundos com dificuldade 3



Fonte: Próprio autor.

### 5.3.1.3 Dificuldade 4

Figura 45 – Comparativo entre arquiteturas - número de transações por tempo em segundos com dificuldade 4

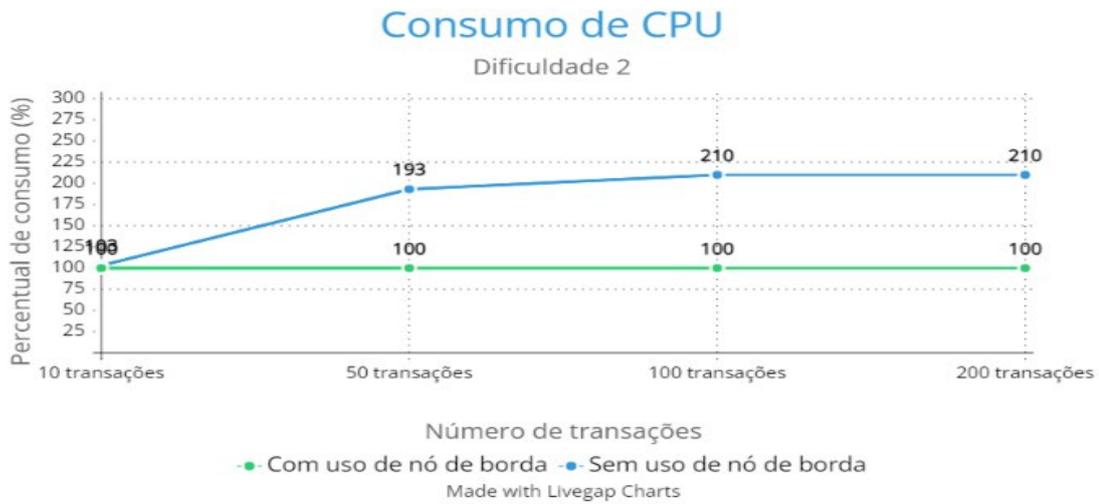


Fonte: Próprio autor.

### 5.3.2 Consumo de CPU e consumo de memória

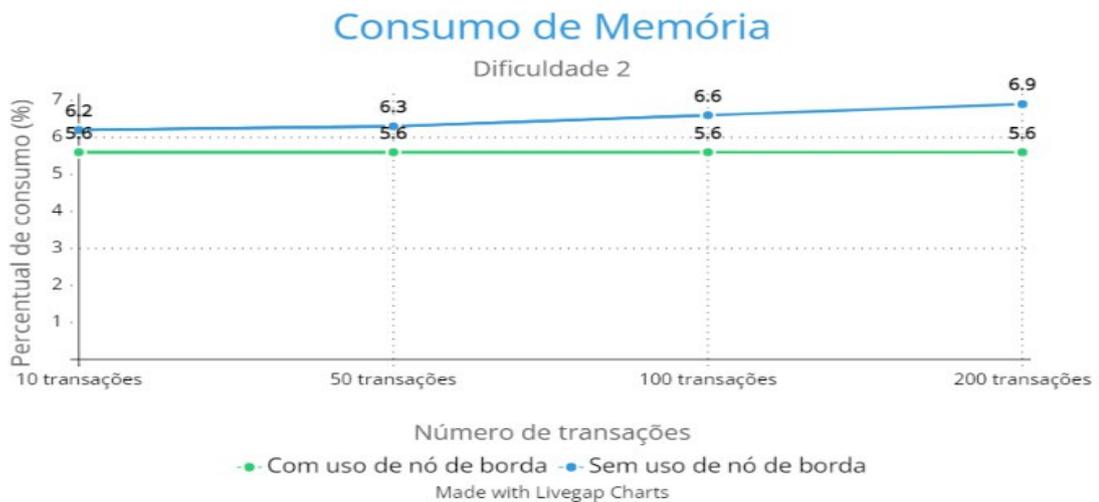
Também é possível comparar o consumo de CPU e memória da arquitetura do device físico quando usado em arquitetura sem computação de borda e com o uso da computação de borda. As figuras 46, 47, 48, 49, 50 e 51 demonstram o consumo de CPU e de Memória, respectivamente, para as dificuldades 2, 3 e 4.

Figura 46 – Comparativo entre arquiteturas - Consumo de CPU com dificuldade 2



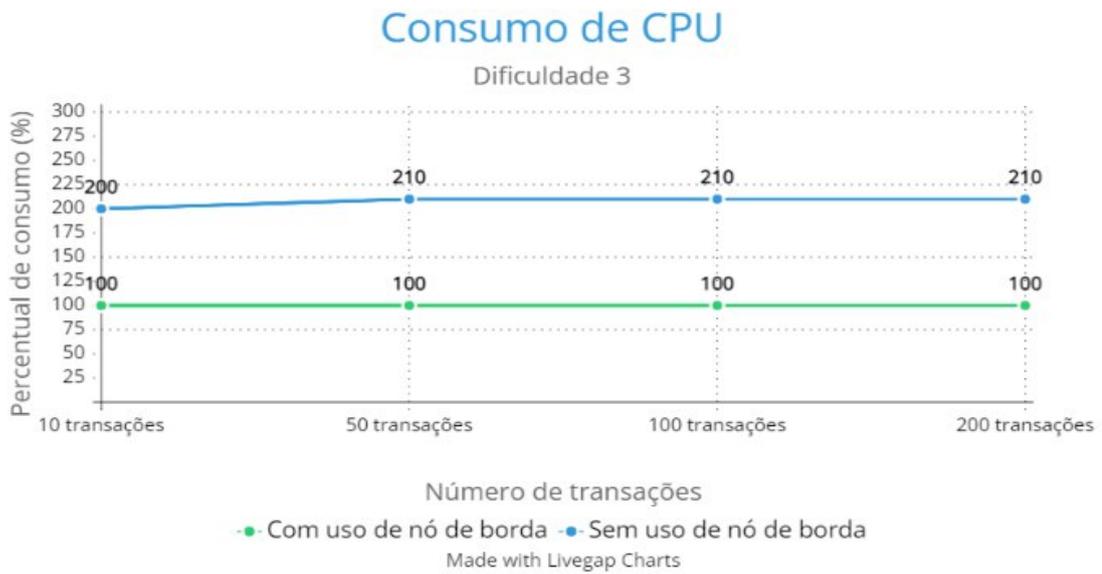
Fonte: Próprio autor.

Figura 47 – Comparativo entre arquiteturas - Consumo de memória com dificuldade 2



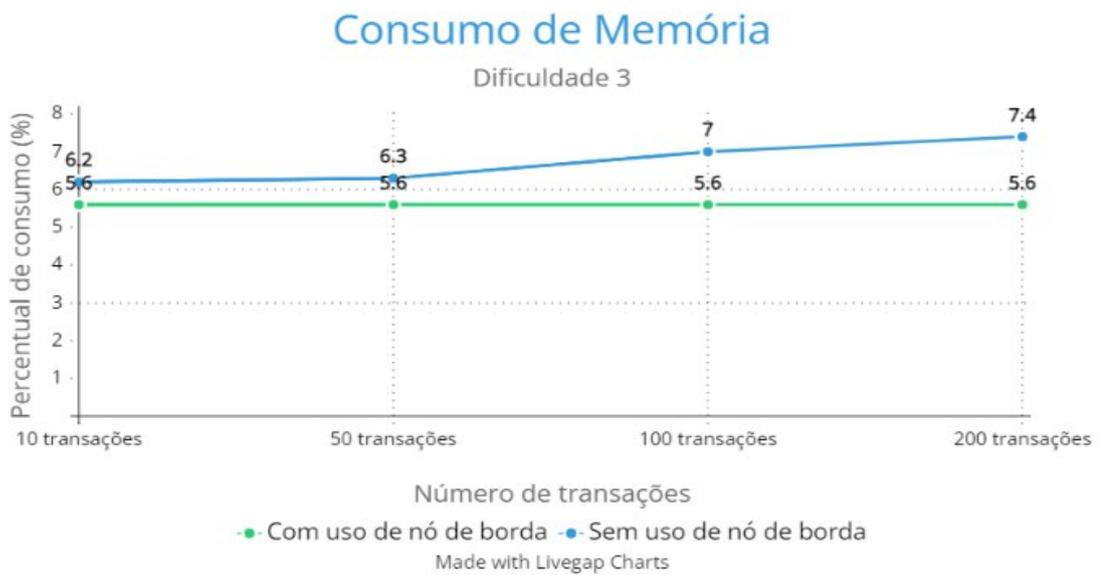
Fonte: Próprio autor.

Figura 48 – Comparativo entre arquiteturas - Consumo de CPU com dificuldade 3



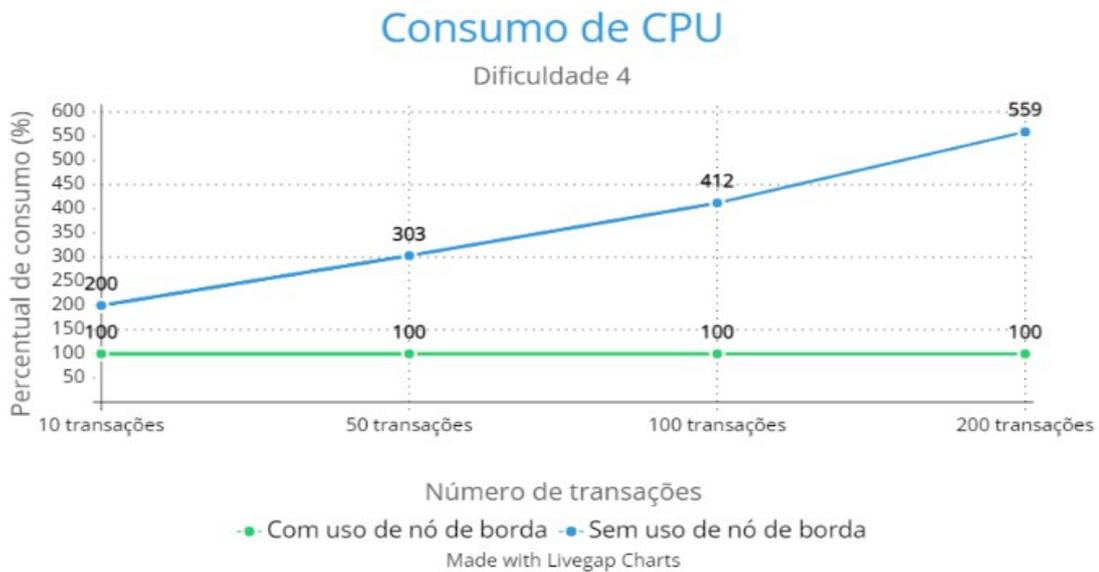
Fonte: Próprio autor.

Figura 49 – Comparativo entre arquiteturas - Consumo de memória com dificuldade 3



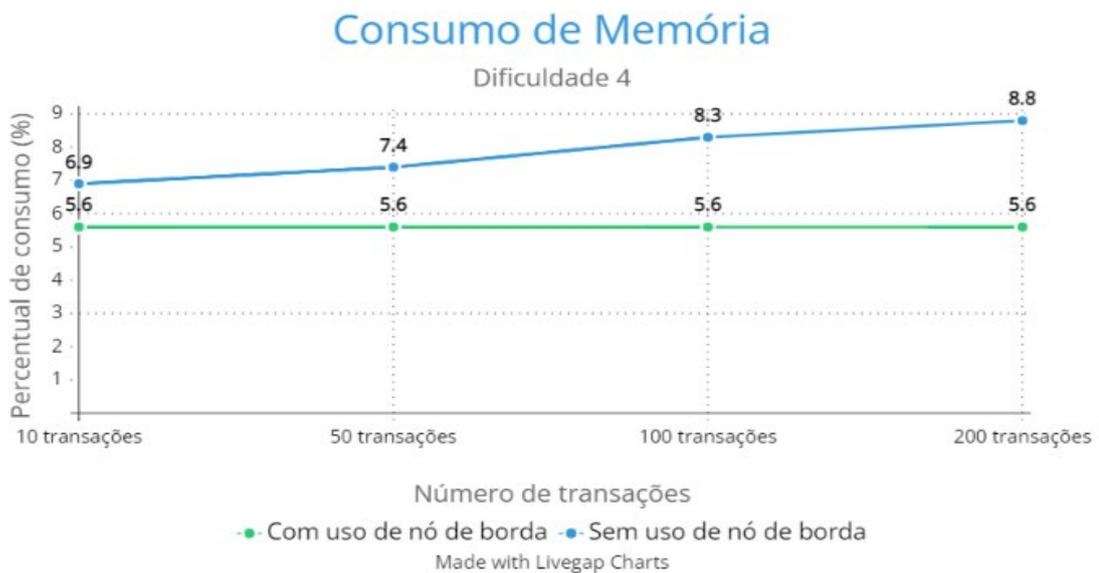
Fonte: Próprio autor.

Figura 50 – Comparativo entre arquiteturas - Consumo de CPU com dificuldade 4



Fonte: Próprio autor.

Figura 51 – Comparativo entre arquiteturas - Consumo de memória com dificuldade 4



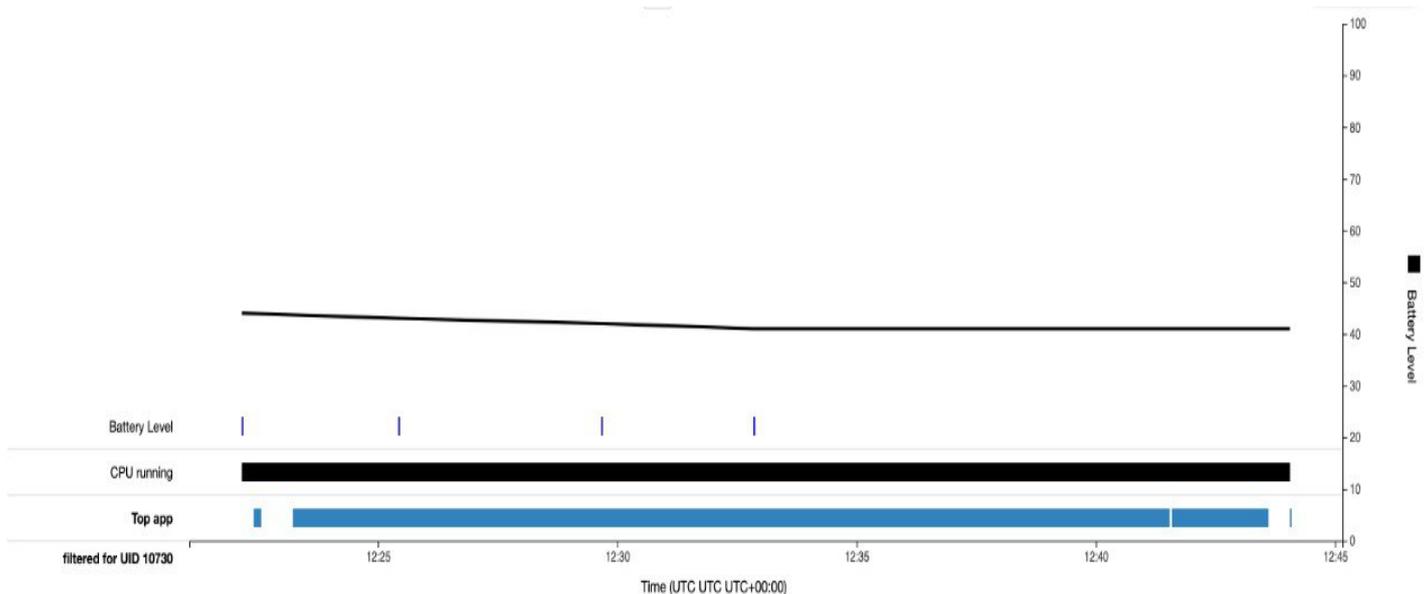
Fonte: Próprio autor.

### 5.3.3 Consumo energia - bateria

No que se refere ao consumo de bateria, pode-se comparar isso isolando o caso mais exigente: dificuldade 4 com 200 transações. A figura 52 ilustra o comportamento desse caso. Quando se usa a computação de borda no processo de mineração da rede blockchain, a bateria permanece sem perda de nível visto que não é necessário estar com o device sempre ligado e

executando esse processamento no device físico. Essa atribuição, diferentemente da arquitetura que não utiliza o nó de borda, sai do device físico (que passa a ser somente interface visual) e vai para o nó de borda. Já quando não há o uso do nó de borda, a bateria cai de nível proporcional ao tempo de execução, uso de memória e CPU gastos na operação de mineração que está sendo executada no device físico.

Figura 52 – Dificuldade 4 - consumo da bateria com 200 transações sem nó de borda



Fonte: Próprio autor.

### 5.3.4 Conclusão

Por fim, a conclusão retirada desse benchmark é: **quanto maior for a dificuldade da rede blockchain, mais eficiente se torna o uso da computação de borda para auxiliar no processo de mineração.** Outro fator percebido que é válido de se ressaltar foi a capacidade do sistema operacional IOS em processar a rede blockchain. Em comparação com o emulador de dispositivo Android, o simulador do dispositivo IOS obteve melhor performance, levando menos tempo para processar as transações realizadas. Isso é mais evidente nas figuras 43, 44 e 45, nas quais é possível notar a diferença considerável de tempo de mineração quando se utilizou a arquitetura de computação de borda em comparação com sua não utilização, bem como o desempenho do simulador IOS e do emulador Android.

# 6

## Aplicação do mobile blockchain em sistema de votação eletrônica

Nesse capítulo é discorrido sobre uma aplicabilidade interessante para o mobile blockchain: a votação digital utilizando plataformas móveis. Nesse sentido, pontos como a importância de um sistema de votação como esse e o desenvolvimento de um protótipo de sistema de votação utilizando uma variação do já implementado mobile blockchain, no capítulo anterior, é apresentado.

### 6.1 Importância de um sistema de votação digital usando plataforma móvel

O voto, na atualidade, é o principal meio do cidadão demonstrar poder de escolha sobre quem serão os governantes dos territórios onde habitam. Nesse contexto, dado que a tecnologia tem se mostrado cada vez mais promissora em diversas áreas da sociedade, não é diferente no voto.

Como exemplo, pode-se utilizar o caso de uso da Estônia(KALVET, 2012). A Estônia é um país adepto do uso de plataformas móveis para uso em votação digital. O sistema i-Voting, na atualidade, é uma opção nos períodos de exercer a democracia. Juntamente com essa iniciativa, posteriormente, nos anos 2007 e 2008 foram pontos de atenção a segurança cibernética e o uso da tecnologia blockchain como solução viável para os problemas que poderiam acontecer devido à adesão à cultura digital(HEIBERG; LAUD; WILLEMSON, 2011).

É nesse contexto que a implementação de um sistema de voto digital utilizando o mobile blockchain se faz. Dado o elevado crescimento do uso dos dispositivos móveis, da preocupação com a segurança das informações e do uso da tecnologia blockchain, é possível juntar isso dentro do protótipo de sistema de voto eletrônico usando o mobile blockchain.

## 6.2 Desenvolvimento e testes do protótipo

A partir da implementação utilizada no benchmark anteriormente é possível elaborar uma implementação de um sistema simples de votação eletrônica. Sendo apenas um protótipo, vem com o objetivo de elucidar neste trabalho um exemplo de aplicabilidade do mobile blockchain.

A implementação da rede blockchain se deu por meio de princípios de Orientação a Objetos e utilizando a tecnologia Javascript. Na figura 53 é possível visualizar algumas classes implementadas, como a do bloco da rede blockchain. Além disso, algumas funções são utilizadas, como funções para minerar blocos, validação de uma transação e de cálculo do hash do bloco.

Figura 53 – Código do bloco da rede blockchain em Javascript

```
60
61 class Block {
62   constructor(timestamp, transactions, previousHash = '') {
63     this.timestamp = timestamp;
64     this.transactions = transactions;
65     this.previousHash = previousHash;
66     this.hash = this.calculateHash();
67     this.nonce = 0;
68   }
69
70   calculateHash() {
71     const content =
72       this.previousHash +
73       this.timestamp +
74       JSON.stringify(this.transactions) +
75       this.nonce;
76
77     var CryptoJS = require('crypto-js');
78
79     return CryptoJS.SHA256(content).toString();
80   }
81
82   mineBlock(difficulty) {
83     while (
84       this.hash.substring(0, difficulty) !== Array(difficulty + 1).join('0')
85     ) {
86       this.nonce++;
87       this.hash = this.calculateHash();
88     }
89
90     console.log('Block mined:' + this.hash);
91   }
92
93   isValidTransactions() {
94     for (const tx of this.transactions) {
95       if (!tx.isValid()) {
96         return false;
97       }
98     }
99
100    return true;
101  }
```

Fonte: Próprio autor.

Na figura 54, é possível visualizar outra classe referente à própria rede blockchain. Além disso, algumas funções são ilustradas, como a de criar o primeiro bloco da rede blockchain, a de pegar o último bloco da rede e a de adicionar um bloco à rede.

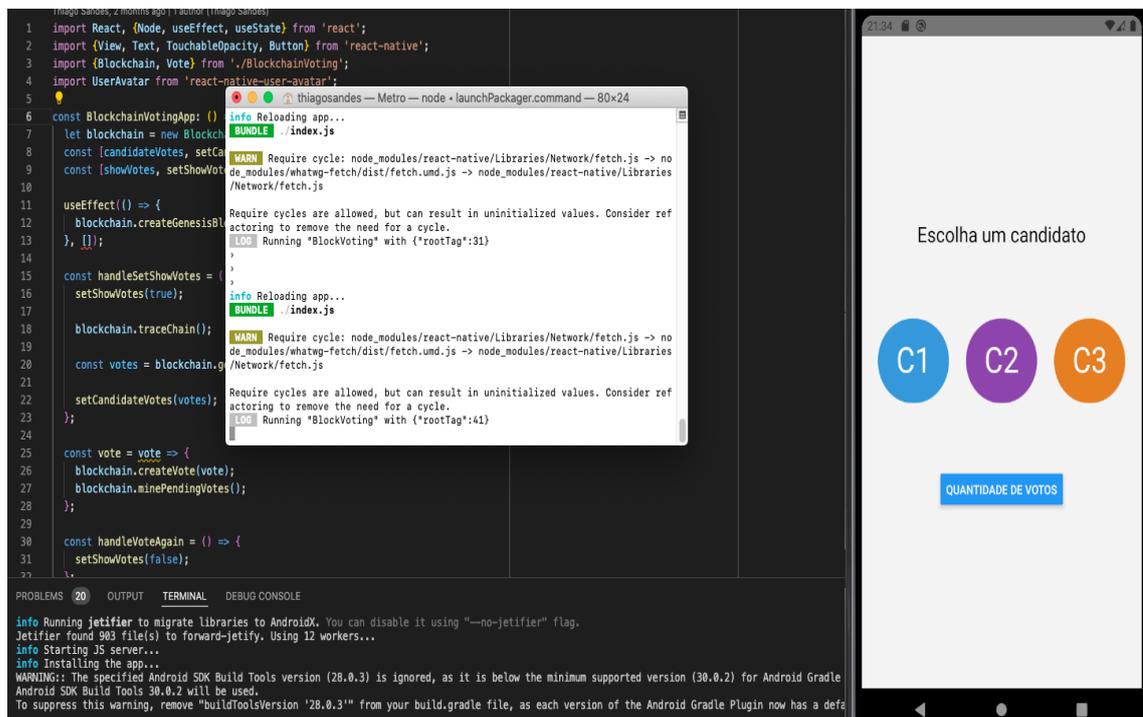
Figura 54 – Código da rede blockchain em Javascript

```
104 - class Blockchain {
105 -   constructor() {
106     this.chain = [this.createGenesisBlock()];
107     this.difficulty = 2;
108     this.pendingTransactions = [];
109     this.miningReward = 100;
110   }
111
112 -   createGenesisBlock() {
113     return new Block(Date.now(), 'Genesis Block', '0');
114   }
115
116 -   getLatestBlock() {
117     return this.chain[this.chain.length - 1];
118   }
119
120 -   addBlock(newBlock) {
121     newBlock.previousHash = this.getLatestBlock().hash;
122     newBlock.mineBlock(this.difficulty);
123     this.chain.push(newBlock);
124   }
```

Fonte: Próprio autor.

Na figura 55 são mostrados parte do código implementado para fazer a rede blockchain e o sistema de votação, o console da aplicação que exibe informações do aplicativo em tempo de execução e o protótipo do aplicativo sendo executado no dispositivo android emulado Pixel 3A.

Figura 55 – Protótipo de sistema de votação eletrônica utilizando mobile blockchain



Fonte: Próprio autor.

O aplicativo é em tela única e tem o intuito de mostrar a aplicabilidade da implementação do mobile blockchain a partir de variação da implementação utilizada anteriormente no benchmark.

Em algumas etapas da execução do protótipo do aplicativo, como ilustra a figura 56, é possível visualizar a cadeia de hashes formadas após cada voto computado usando o console que é utilizado durante o desenvolvimento da aplicação.

Figura 56 – Blocos minerados computados após votação

```

LOG Running "BlockVoting" with {"rootTag":51}
LOG Block mined:0e4aad661935ee1c7504c1b6094404803da17fb3b52b034e531fe14838bc18
b9
LOG Block successfully mined!
LOG Block mined:010d7b496e587c21bc3d0f8e98d4ce22cc980d5c55c0e8418c72496f8e6023
c8
LOG Block successfully mined!
LOG Block mined:0b2bc5056aa0bbbe57b05d81ca46e8da03faecc58fe8f0dc97203afe8f4fe8
0a
LOG Block successfully mined!
    
```

Fonte: Próprio autor.

Tomando o exemplo anterior, foram computados três votos, um para cada candidato. Ainda usando o console, é possível visualizar, na figura 57, o total de votos computados para cada candidato, bem como a cadeia de blocos sequenciais que formam a rede blockchain.

Figura 57 – Quantidade de votos computados e sequência de blocos da rede blockchain

```

LOG Block mined:0b2bc5056aa0bbbe57b05d81ca46e8da03faecc58fe8f0dc97203afe8f4fe80a
LOG Block successfully mined!
LOG {
  "timestamp": 1645635813383,
  "votes": "Genesis Block",
  "previousHash": "0",
  "hash": "7dc1e648ba716419d0ab06dc42d49f53a51df0714547c1b82870d9061c5d4c9b",
  "nonce": 0
}
LOG {
  "timestamp": 1645635815213,
  "votes": [
    {
      "personOne": 1,
      "personTwo": 0,
      "personThree": 0
    }
  ],
  "previousHash": "7dc1e648ba716419d0ab06dc42d49f53a51df0714547c1b82870d9061c5d4c9b",
  "hash": "0e4aad661935ee1c7504c1b6094404803da17fb3b52b034e531fe14838bc18b9",
  "nonce": 1
}
LOG {
  "timestamp": 1645635816763,
  "votes": [
    {
      "personOne": 0,
      "personTwo": 1,
      "personThree": 0
    }
  ],
  "previousHash": "0e4aad661935ee1c7504c1b6094404803da17fb3b52b034e531fe14838bc18b9",
  "hash": "010d7b496e587c21bc3d0f8e98d4ce22cc980d5c55c0e8418c72496f8e6023c8",
  "nonce": 1
}
LOG {
  "timestamp": 1645635817461,
  "votes": [
    {
      "personOne": 0,
      "personTwo": 0,
      "personThree": 1
    }
  ],
  "previousHash": "010d7b496e587c21bc3d0f8e98d4ce22cc980d5c55c0e8418c72496f8e6023c8",
  "hash": "0b2bc5056aa0bbbe57b05d81ca46e8da03faecc58fe8f0dc97203afe8f4fe80a",
  "nonce": 7
}
LOG Voting Counter:
LOG Person One has 1 Votes
LOG Person Two has 1 Votes
LOG Person Three has 1 Votes
    
```

Fonte: Próprio autor.

Em cada registro do sistema, é possível verificar para quem o voto foi computado, o exato momento do voto por meio do valor timestamp e o valor de hash que identifica o próprio voto dentro da rede blockchain e o que liga o bloco atual ao registro anterior por meio do valor "previousHash", conectando os blocos dentro da rede blockchain.

## 6.2.1 Estatísticas de uso

Por meio dos testes do protótipo, é possível extrair estatísticas de uso interessantes para este trabalho. Dentre elas:

- consumo de CPU;
- consumo de memória.

Além disso, é possível variar o número de candidatos e verificar qual é o comportamento das estatísticas de consumo de CPU e de memória.

Por fim, é possível comparar as estatísticas de consumo de CPU e de memória em duas situações no sistema de votação: com o uso do blockchain e sem o seu uso.

### 6.2.1.1 Consumo de CPU e de memória do sistema de votação com o uso do blockchain

Nos testes executados no device físico Xiaomi Redmi 7, foram obtidas as seguintes estatísticas de uso em relação ao consumo de CPU e de memória com o uso do blockchain no sistema de votação para 3, 4 e 5 candidatos.

Tabela 13 – Consumo de CPU e de memória do sistema de votação com rede blockchain

<b>Número de candidatos</b>	<b>CPU</b>	<b>Memória RAM</b>
3	13.3%	5.8%
4	13.3%	6.0%
5	13.3%	6.5%

A tabela 13 demonstra que o consumo de CPU permanece constante mesmo com o aumento do número de candidatos. Por outro lado, o uso de memória RAM aumenta.

### 6.2.1.2 Consumo de CPU e de memória do sistema de votação sem o uso do blockchain

Os testes também foram executados no device físico Xiaomi Redmi 7 para obter as estatísticas de uso em relação ao consumo de CPU e de memória sem o uso do blockchain no sistema de votação para 3, 4 e 5 candidatos.

Tabela 14 – Consumo de CPU e de memória do sistema de votação sem uso do blockchain

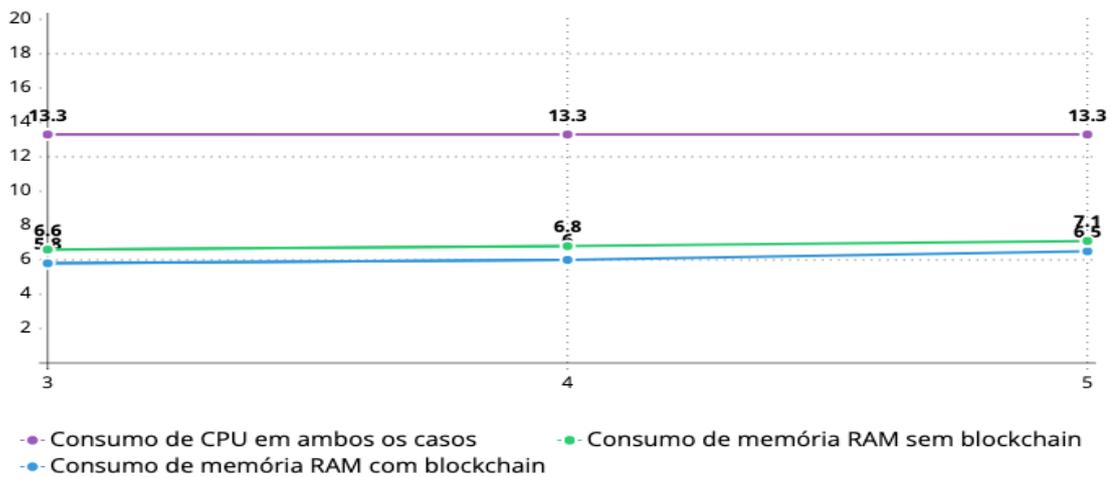
<b>Número de candidatos</b>	<b>CPU</b>	<b>Memória RAM</b>
3	13.3%	6.6%
4	13.3%	6.8%
5	13.3%	7.1%

É possível perceber, por meio da tabela 14, que o consumo de CPU também permanece constante no sistema de votação sem o uso do blockchain. Um comportamento interessante é que o aumento do consumo de memória RAM, nesse caso, é maior do que o que foi coletado no sistema de votação com o uso do blockchain.

### 6.2.1.3 Comparação entre uso do blockchain e seu não uso no sistema de votação

Por meio das estatísticas coletadas anteriormente, pode-se fazer um comparativo do consumo de CPU e memória RAM do sistema de votação com o uso de blockchain e sem seu uso, variando número de candidatos de 3 a 5. Por meio da figura 58, é possível notar mais claramente o aumento do uso de memória RAM com a retirada do blockchain do sistema de votação.

Figura 58 – Comparativo de consumo de CPU e memória RAM (ambos em %) do sistema de votação com e sem uso de blockchain



Fonte: Próprio autor.

### 6.2.1.4 Comportamento do sistema de votação da rede blockchain de acordo com o aumento de candidatos

Por fim, a tabela 15 demonstra a variação do consumo de memória RAM para valores mais altos de número de candidatos usando o sistema de votação com o uso de blockchain: 10 candidatos, 20 candidatos e 40 candidatos.

Tabela 15 – Consumo de CPU e de memória do sistema de votação com rede blockchain - 10, 20 e 40 candidatos

Número de candidatos	CPU	Memória RAM
10	13.3%	6.7%
20	13.3%	6.8%
40	13.3%	7.0%

O consumo de CPU permanece constante. Isso indica não haver muito uso de processamento neste número de candidatos. O consumo memória aumenta, mas ainda assim não ultrapassa o valor do consumo de memória do sistema de votação eletrônica sem o uso do blockchain.

# 7

## Conclusão

Nessa dissertação de mestrado foram abordadas duas vertentes do mobile blockchain: aplicação e desempenho. Por meio de um mapeamento sistemático, foi possível analisar como está a pesquisa no que tange à **aplicação** e ao **desempenho** do tema em questão. Feito o mapeamento sistemático com intuito quantitativo, qualitativo e de comparação, foi possível, também, visualizar como a plataforma móvel está sendo alvo da tecnologia blockchain, apesar de suas limitações.

Do mapeamento sistemático em mobile blockchain, extraiu-se algumas tendências de pesquisa e percebeu-se algumas lacunas do mesmo modo. Sendo uma das tendências o uso do blockchain em aplicativos do mercado financeiro e o uso de computação de borda para melhorar o desempenho do mobile blockchain. Nesse sentido, é justamente esse questão, o desempenho, que se apresenta como lacuna de pesquisa no campo de blockchain em dispositivos e aplicativos móveis.

Dadas as informações coletadas, um benchmark foi provido, apontando as melhores práticas e tecnologias que viabilizam a melhoria do desempenho do blockchain quando aplicado em dispositivos móveis, isto é, sua melhor performance.

Por fim, uma aplicação do mobile blockchain deve ser provida adiante com o intuito de mostrar como é a aplicação do blockchain em dispositivos móveis, partindo da mesma implementação utilizada no benchmark.

### 7.1 Contribuições

Dado o trabalho aqui apresentado, foi elaborado o benchmark do tipo genérico. Esse benchmark é mais amplo. Na aplicação dos testes, de maneira genérica, foi possível retornar os resultados úteis para esse trabalho.

Dado esse contexto, foram usados dois cenários no benchmark: um deles é o cenário de

arquitetura móvel sem computação de borda e o outro é o cenário de arquitetura móvel com o uso de computação de borda.

Dessa forma, com o uso do benchmark genérico e dos cenários citados, os principais resultados validaram que o uso da computação de borda melhora o desempenho do processamento do mobile blockchain. Isso se ratifica nas comparações entre as métricas utilizadas neste trabalho realizadas entre os cenários com e sem computação de borda, a saber: consumo de bateria, consumo de memória e de CPU e de número de transações por tempo de acordo com variação de dificuldade (de 1 a 4). Os resultados expostos na seção 5 validam o ganho de desempenho substancial provocado pelo uso da computação de borda em relação ao seu não uso.

Portanto, como principais contribuições deste trabalho pode-se citar os trabalhos correlatos de acordo com o mapeamento sistemático, bem como os resultados desse mapeamento e a síntese do processo de sumarização dos trabalhos estudados. Além disso, há também a introdução ao experimento do mobile blockchain em um cenário de carteira virtual (wallet) e arquiteturas com e sem o uso da computação de borda. Nesse ponto, levanta-se a questão para validar se o uso de uma arquitetura de computação de borda móvel melhora o processo de mineração envolvido ou apenas aumenta complexidade desnecessariamente. Esse questionamento é respondido com os resultados apresentados no benchmark, comprovando que o uso da computação de borda melhora o processo do mobile blockchain.

## 7.2 Trabalhos Futuros

Nesta seção são levantados alguns possíveis trabalhos futuros, com o intuito de dar prosseguimento a pesquisa, trazendo novos resultados ou melhorando os resultados atuais:

- Utilizar computação de borda de maneira mais consistente nesse sistema de votação eletrônica de maneira a melhorar o desempenho do processo de mineração da rede blockchain;
- Analisar outras arquiteturas e algoritmos possíveis na aplicação do mobile blockchain de forma a melhorar seu desempenho;
- Implementar um sistema de votação eletrônica mais robusto utilizando implementação do mobile blockchain;
- Analisar outras aplicações possíveis para o mobile blockchain;
- Utilizar computação de borda de maneira mais consistente nesse sistema de votação eletrônica de maneira a melhorar o desempenho do processo de mineração da rede blockchain;
- Analisar outras arquiteturas e algoritmos possíveis na aplicação do mobile blockchain de forma a melhorar seu desempenho;

# Referências

ARAÚJO, P. A. M. de; EDDINE, E. A. C. As abordagens da bitcoin e blockchain em artigos acadêmicos. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 7, p. 7669–7675, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.

AURÉLIO, R. P.; OLIVEIRA, L. C. de; ALVES, M. D. C. A tecnologia da informação e o uso do mobile banking. In: *Anais do Congresso Nacional Universidade, EAD e Software Livre*. [S.l.: s.n.], 2018. v. 1, n. 9. Citado na página 11.

BASTIANI, A. *O que é e como funciona o Proof of Work?* 2020. [Online; acessado em 15. Jan. 2022]. Disponível em: <<https://www.criptofacil.com/o-que-e-e-como-funciona-o-proof-of-work>>. Citado na página 17.

BATSCHINSKI, G. *Heroku Alternativas Principais Concorrentes*. 2021. [Online; acessado em 22. Jan. 2022]. Disponível em: <<https://blog.back4app.com/pt/heroku-alternativas>>. Citado na página 41.

BEAL, A. *Segurança Da Informação: Princípios e Melhores Práticas Para a Proteção Dos Ativos de Informação Nas Organizações*. [S.l.]: Editora Atlas SA, 2000. Citado na página 15.

CHENG, J. et al. Lightweight mobile clients privacy protection using trusted execution environments for blockchain. *CMC-COMPUTERS MATERIALS & CONTINUA*, TECH SCIENCE PRESS 871 CORONADO CENTER DR, SUITE 200, HENDERSON, NV 89052 USA, v. 65, n. 3, p. 2247–2262, 2020. Citado na página 30.

COINWARZ. *Bitcoin Difficulty Chart - BTC Difficulty*. 2022. Disponível em: <<https://www.coinwarz.com/mining/bitcoin/difficulty-chart>>. Citado na página 17.

FENG, J. et al. Joint optimization of radio and computational resources allocation in blockchain-enabled mobile edge computing systems. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, IEEE, v. 19, n. 6, p. 4321–4334, 2020. Citado na página 30.

FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M. et al. Enabling the internet of mobile crowdsourcing health things: A mobile fog computing, blockchain and iot based continuous glucose monitoring system for diabetes mellitus research and care. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 19, n. 15, p. 3319, 2019. Citado na página 30.

FIREBASE. *Firestore*. 2022. [Online; acessado 21. Jul. 2022]. Disponível em: <<https://firebase.google.com/>>. Citado na página 43.

FRANKENFIELD, J. *What Is Cryptocurrency Difficulty?* 2022. [Online; acessado em 15. Jan. 2022]. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/terms/d/difficulty-cryptocurrencies.asp>>. Citado na página 17.

GAO, Y. et al. Deep reinforcement learning based task scheduling in mobile blockchain for iot applications. In: *IEEE ICC 2020-2020 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. [S.l.], 2020. p. 1–7. Citado 3 vezes nas páginas 27, 31 e 32.

GRACE, R. *The benchmark book*. [S.l.]: Prentice-Hall, Inc., 1996. Citado na página 36.

- HAN, G. Blockchain: the promise of smart contracts. *Juris Illuminae*, v. 8, p. 1–4, 2017. Citado na página 11.
- HEIBERG, S.; LAUD, P.; WILLEMSON, J. The application of i-voting for estonian parliamentary elections of 2011. In: SPRINGER. *International Conference on E-Voting and Identity*. [S.l.], 2011. p. 208–223. Citado na página 69.
- HEROKU. *Cloud Application Platform | Heroku*. 2022. [Online; acessado 21. Jul. 2022]. Disponível em: <<https://www.heroku.com>>. Citado na página 42.
- HO, Y. H. et al. Mobile intercloud system with blockchain. In: *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*. [S.l.: s.n.], 2018. v. 1. Citado na página 30.
- HU, J. et al. A blockchain-based reward mechanism for mobile crowdsensing. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, IEEE, v. 7, n. 1, p. 178–191, 2020. Citado na página 30.
- HUH, J.-H.; SEO, K. Blockchain-based mobile fingerprint verification and automatic log-in platform for future computing. *The Journal of Supercomputing*, Springer, v. 75, n. 6, p. 3123–3139, 2019. Citado na página 30.
- INC, B. *Back4app - Low code backend that helps you build apps faster and scale easily*. 2022. [Online; acessado 21. Jul. 2022]. Disponível em: <<https://www.back4app.com>>. Citado na página 42.
- INFORMAÇÃO, G. d. S. da. uma visão executiva. *Sêmola, Marcos*, 2003. Citado na página 15.
- JIAO, Y. et al. Social welfare maximization auction in edge computing resource allocation for mobile blockchain. In: IEEE. *2018 IEEE international conference on communications (ICC)*. [S.l.], 2018. p. 1–6. Citado na página 12.
- JIAO, Y. et al. Social welfare maximization auction in edge computing resource allocation for mobile blockchain. In: IEEE. *2018 IEEE international conference on communications (ICC)*. [S.l.], 2018. p. 1–6. Citado na página 20.
- KALVET, T. Innovation: a factor explaining e-government success in estonia. *Electronic Government, an International Journal*, Inderscience Publishers, v. 9, n. 2, p. 142–157, 2012. Citado na página 69.
- KIM, H.-W.; JEONG, Y.-S. Secure authentication-management human-centric scheme for trusting personal resource information on mobile cloud computing with blockchain. *Human-centric Computing and Information Sciences*, SpringerOpen, v. 8, n. 1, p. 1–13, 2018. Citado na página 30.
- KISTOWSKI, J. v. et al. How to build a benchmark. In: *Proceedings of the 6th ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 333–336. Citado na página 36.
- KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. Citeseer, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 29.

- LI, Y.; WU, J.; CHEN, L. Poem+: Pricing longer for mobile blockchain computation offloading with edge computing. In: IEEE. *2019 IEEE 21st International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 17th International Conference on Smart City; IEEE 5th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)*. [S.l.], 2019. p. 162–167. Citado 4 vezes nas páginas 26, 31, 32 e 33.
- LIANG, X. et al. Towards blockchain empowered trusted and accountable data sharing and collaboration in mobile healthcare applications. *EAI Endorsed Transactions on Pervasive Health and Technology*, European Alliance for Innovation (EAI), v. 4, n. 15, 2018. Citado na página 30.
- LIANG, X. et al. Integrating blockchain for data sharing and collaboration in mobile healthcare applications. In: IEEE. *2017 IEEE 28th annual international symposium on personal, indoor, and mobile radio communications (PIMRC)*. [S.l.], 2017. p. 1–5. Citado na página 30.
- LIU, M. et al. Computation offloading and content caching in wireless blockchain networks with mobile edge computing. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, IEEE, v. 67, n. 11, p. 11008–11021, 2018. Citado na página 30.
- LIU, T. et al. Smart contract-based long-term auction for mobile blockchain computation offloading. *IEEE Access*, IEEE, v. 8, p. 36029–36042, 2020. Citado 3 vezes nas páginas 26, 31 e 32.
- LIU, X. et al. Efficient auction mechanism for edge computing resource allocation in mobile blockchain. In: IEEE. *2019 IEEE 21st International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 17th International Conference on Smart City; IEEE 5th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)*. [S.l.], 2019. p. 871–876. Citado 4 vezes nas páginas 25, 31, 32 e 33.
- LOREDO, J. I. C. Moedas virtuais e bitcoin, a rede de pagamento inovadora. Niterói, 2016. Citado na página 17.
- LWIN, M. T.; YIM, J.; KO, Y.-B. Blockchain-based lightweight trust management in mobile ad-hoc networks. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 20, n. 3, p. 698, 2020. Citado na página 30.
- LYRA, M. R. Governança da segurança da informação. *Brasília: nd*, 2015. Citado na página 15.
- MAHMUD, R.; KOTAGIRI, R.; BUYYA, R. Fog computing: A taxonomy, survey and future directions. In: *Internet of everything*. [S.l.]: Springer, 2018. p. 103–130. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 37.
- MOHER, D.; STEWART, L.; SHEKELLE, P. All in the family: systematic reviews, rapid reviews, scoping reviews, realist reviews, and more. *Systematic reviews*, BioMed Central, v. 4, n. 1, p. 1–2, 2015. Citado na página 22.
- MOURA, L. M. F. d.; BRAUNER, D. F.; MUNIZ, R. J. Blockchain e a perspectiva tecnológica para a administração pública: Uma revisão sistemática. *Revista de Administração Contemporânea*, SciELO Brasil, v. 24, p. 259–274, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 35.
- NGUYEN, D. C. et al. Blockchain for secure ehars sharing of mobile cloud based e-health systems. *IEEE access*, IEEE, v. 7, p. 66792–66806, 2019. Citado na página 30.

- NGUYEN, D. C. et al. Privacy-preserved task offloading in mobile blockchain with deep reinforcement learning. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, IEEE, v. 17, n. 4, p. 2536–2549, 2020. Citado 3 vezes nas páginas 27, 31 e 32.
- NOFER, M. et al. Blockchain. *Business & Information Systems Engineering*, Springer, v. 59, n. 3, p. 183–187, 2017. Citado na página 16.
- OWOH, N. P.; SINGH, M. M. Applying diffie-hellman algorithm to solve the key agreement problem in mobile blockchain-based sensing applications. *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl*, v. 10, n. 3, p. 59–68, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 31.
- PIERRO, M. D. What is the blockchain? *Computing in Science & Engineering*, IEEE, v. 19, n. 5, p. 92–95, 2017. Citado na página 16.
- QIAO, G. et al. Blockchain empowered resource trading in mobile edge computing and networks. In: IEEE. *ICC 2019-2019 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. [S.l.], 2019. p. 1–6. Citado na página 30.
- RANDALL, D.; GOEL, P.; ABUJAMRA, R. Blockchain applications and use cases in health information technology. *Journal of Health & Medical Informatics*, v. 8, n. 3, p. 8–11, 2017. Citado na página 18.
- RASOOL, S. et al. Reliable data analysis through blockchain based crowdsourcing in mobile ad-hoc cloud. *Mobile Networks and Applications*, Springer, v. 25, n. 1, p. 153–163, 2020. Citado na página 30.
- SABERI, S. et al. Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, Taylor & Francis, v. 57, n. 7, p. 2117–2135, 2019. Citado na página 18.
- SARPONG, S. Traceability and supply chain complexity: confronting the issues and concerns. *European Business Review*, Emerald Group Publishing Limited, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 33.
- SIVARAM, M. et al. A resilient and secure two-stage ita and blockchain mechanism in mobile crowd sourcing. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, Springer, v. 11, n. 11, p. 5003–5016, 2020. Citado na página 30.
- SUANKAEWMANEE, K. et al. Performance analysis and application of mobile blockchain. In: IEEE. *2018 international conference on computing, networking and communications (ICNC)*. [S.l.], 2018. p. 642–646. Citado 3 vezes nas páginas 29, 31 e 32.
- SUNG, M. et al. Developing a mobile app for monitoring medical record changes using blockchain: Development and usability study. *Journal of medical Internet research*, JMIR Publications Inc., Toronto, Canada, v. 22, n. 8, p. e19657, 2020. Citado na página 30.
- TAPSCOTT, A. T. D. *Blockchain revolution*. [S.l.]: Senai-SP Editora, 2018. Citado na página 17.
- UDDIN, M. A. et al. A decentralized patient agent controlled blockchain for remote patient monitoring. In: IEEE. *2019 International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*. [S.l.], 2019. p. 1–8. Citado na página 30.

- XIONG, Z. et al. Optimal pricing-based edge computing resource management in mobile blockchain. In: IEEE. *2018 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. [S.l.], 2018. p. 1–6. Citado 4 vezes nas páginas 26, 31, 32 e 33.
- XIONG, Z. et al. When mobile blockchain meets edge computing. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 56, n. 8, p. 33–39, 2018. Citado na página 11.
- XIONG, Z. et al. When mobile blockchain meets edge computing. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 56, n. 8, p. 33–39, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 33.
- XU, X. et al. Blockchain-based cloudlet management for multimedia workflow in mobile cloud computing. *Multimedia Tools and Applications*, Springer, p. 1–26, 2019. Citado na página 30.
- XU, Y.; ZHU, K.; LI, S. Hierarchical combinatorial auction in computing resource allocation for mobile blockchain. *Wireless Communications and Mobile Computing*, Hindawi, v. 2020, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 31.
- YOO, S. Blockchain based financial case analysis and its implications. *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship*, Emerald Publishing Limited, 2017. Citado na página 12.
- ZHENG, R. et al. bcbim: A blockchain-based big data model for bim modification audit and provenance in mobile cloud. *Mathematical Problems in Engineering*, Hindawi, v. 2019, 2019. Citado na página 30.
- ZĪLE, K.; STRAZDIŅA, R. Blockchain use cases and their feasibility. *Applied Computer Systems*, Sciendo, v. 23, n. 1, p. 12–20, 2018. Citado na página 12.
- ZOU, S. et al. Crowdblps: A blockchain-based location-privacy-preserving mobile crowdsensing system. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, IEEE, v. 16, n. 6, p. 4206–4218, 2019. Citado na página 30.