

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO**  
**CURSO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

**LETÍCIA PILLAR LISBOA**

**PEM4BLOCKEHR: Um Modelo de Avaliação de Desempenho  
do Blockchain aplicado a Prontuários Eletrônicos**

**Porto Alegre**  
**2018**

LETÍCIA PILLAR LISBOA

**PEM4BLOCKEHR: Um Modelo de Avaliação de Desempenho  
do Blockchain aplicado a Prontuários Eletrônicos**

Artigo apresentado como requisito parcial  
para obtenção do título de Bacharel em  
Sistemas de Informação em 2018, pelo  
Curso de Graduação em Sistemas de  
Informação da Universidade do Vale do Rio  
dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Cristiano André da Costa

Porto Alegre

2018

## PEM4BLOCKEHR: Um Modelo de Avaliação de Desempenho do Blockchain aplicado a Prontuários Eletrônicos

PEM4BLOCKEHR: A Blockchain Performance Evaluation Model applied to  
Electronic Health Records

Letícia Pillar Lisboa\*

Prof. Dr. Cristiano André da Costa\*\*

**Resumo:** Este trabalho trata do *pem4BlockEHR*, um modelo de avaliação de desempenho do Blockchain aplicado a prontuários eletrônicos. Seu objetivo é proporcionar um ambiente de execução funcional de uma plataforma Blockchain aplicada a transferência de registros eletrônicos de saúde, de forma que através da aplicação de cargas de trabalho o modelo possa coletar dados para a realização de uma análise de desempenho. A implementação do modelo ocorreu através da execução de etapas que descrevem as principais funcionalidades, considerando algumas premissas que a plataforma de Blockchain deve possuir para que o contexto do trabalho seja mantido. A implementação do modelo utilizou a plataforma de Blockchain Ethereum na sua versão privada com o objetivo de descrever o desempenho desta plataforma aplicada a transferência de registros de saúde. Para análise dos dados, o método quantitativo foi utilizado, descrevendo os dados sob as métricas de tempo de execução, latência e taxa de transferência. Os resultados baseados em um número variável de transações, mostraram que o Ethereum apresentou um rendimento consistentemente maior em cenários com alta carga de trabalho, e cenários com atraso no envio fragmentado de transações.

**Palavras-chave:** Blockchain. Ethereum. Prontuários Eletrônicos de Saúde. Análise de Desempenho.

**Abstract:** This article proposes *pem4BlockEHR*, a model for Blockchain performance evaluation, applied to electronic health records. Its purpose is to provide a functional execution environment of a Blockchain platform applied to transferring electronic health records. The proposal, uses the application of workloads in the model in order to collect data for a performance analysis. The implementation of the model used the Ethereum Blockchain platform in its private version, in order to describe the performance of this platform applied to the transfer of health records. For data analysis, the quantitative method was used, describing the execution time, latency and transfer rate metrics. The results based on a variable number of transactions, showed that Ethereum presented a consistently behavior in scenarios with high workload, and in some scenarios the experiments showed delays in sending fragmented transactions.

**Keywords:** Blockchain. Ethereum. Electronic Health Records. Performance Analysis.

---

\* Acadêmica do Curso de Sistemas de Informação da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, [leticiapillar@gmail.com](mailto:leticiapillar@gmail.com).

\*\* Professor do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PIPCA) da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, [cac@unisinos.br](mailto:cac@unisinos.br).

## 1 INTRODUÇÃO

Apesar de toda a evolução da tecnologia da informação e comunicação (TIC) para proporcionar fácil armazenamento e acesso a grande quantidade de dados, os pacientes ainda enfrentam dificuldades em ter uma visão unificada de seu histórico de saúde. Mesmo que a adoção de sistemas informatizados por parte das organizações e prestadores de serviços em saúde seja um passo importante para o uso do Registro Eletrônico de Saúde (RES, sigla adotada do Brasil, em inglês EHR – Eletronic Health Record), os pacientes deixam seus dados de saúde espalhados entre os diversos provedores de cuidados de saúde ao longo da vida. (GORP; COMUZZI, 2014; BOURGEOIS; NIGRIN; HARPER, 2015).

Um EHR é formado por um conjunto de dados de saúde do paciente em um modelo estruturado que permite a integração entre múltiplos prestadores de serviços de saúde. Porém, os registros de saúde são armazenados em banco de dados dentro das organizações de saúde e, normalmente, não possuem acesso externo. (ROEHRS; DA COSTA; RIGHI, 2017). A falta de interoperabilidade entre os diferentes prestadores de serviços de saúde cria barreiras relacionados ao gerenciamento destes dados, o que significa que os registros de saúde estão fragmentados, ao invés de coesos. (MANDL; SZOLOVITS; KOHANE, 2015). Essa fragmentação ocasiona a perda do histórico, sendo necessário ao paciente relatar todo seu histórico de saúde em cada consulta. A Figura 1 apresenta a fragmentação de um EHR, onde suas partes estão espalhadas por diversos provedores de saúde.

Os registros de saúde podem ser armazenados e administrados via tecnologia Blockchain, na forma de um modelo para a manutenção de registros e armazenamento e acesso a dados. Aproveitando as características de uma estrutura de arquivos segura, descentralizada e pseudônima para dados armazenados e acessados na nuvem. A tecnologia Blockchain possui características necessários para contribuir como um grande sistema de registros eletrônicos de saúde. (SWAN, 2015). A tecnologia Blockchain ficou conhecido através da publicação do artigo "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System" por Satoshi Nakamoto em 2008 (NAKAMOTO, 2008). Um benefício do Bitcoin/Blockchain é que a tecnologia permite automaticamente os mecanismos da economia como um recurso incorporado em qualquer sistema. (SWAN, 2015). Ou seja, uma maneira de remunerar os pacientes ao compartilhar seus dados com os pesquisadores da área de saúde.

Na visão de Swan (2015) um dos maiores desafios de transformação da saúde pública e da medicina é passar do atual modelo de “tratar patologias diagnosticadas” para um modelo de “medicina preventiva” com o objetivo de manter, prolongar e melhorar a saúde de base. Neste ponto o acesso aos Registros Eletrônicos de Saúde (EHR) permitiriam que novos métodos de pesquisas sejam aplicados a um grande volume de dados. Portanto, o principal benefício do uso da tecnologia Blockchain para a saúde é permitir uma estrutura para armazenar estes dados, de forma que eles possam ser analisados, mas mantendo a identidade do proprietário privada. (MURDOCH; DETSKY, 2013; BELLAZZI; 2014; SWAN, 2015).

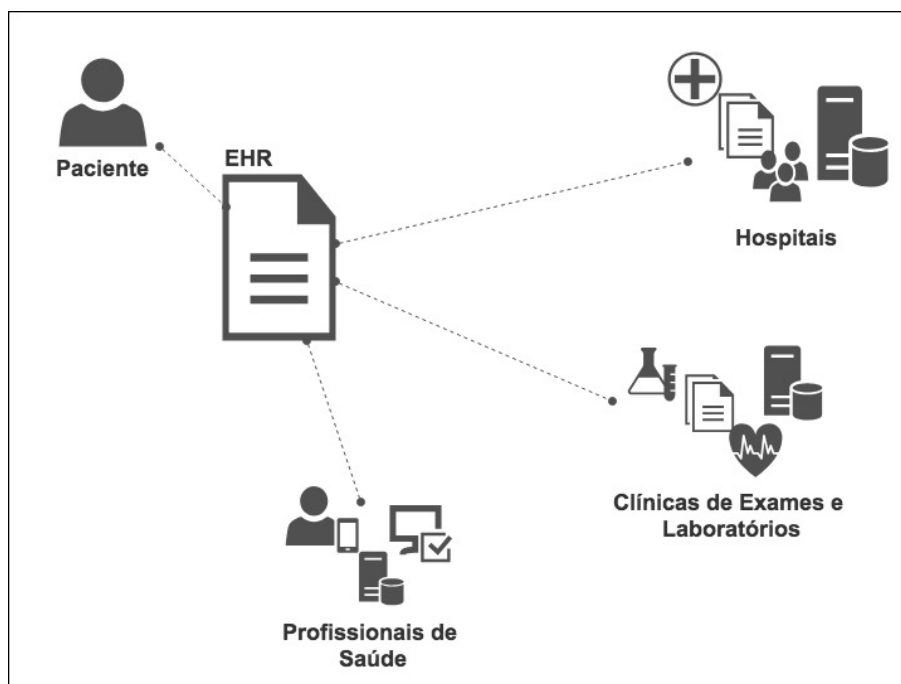
Conforme o trabalho de Azaria et al. (2016), Roehrs, Da Costa e Righi (2017) e, Cunningham e Ainsworth (2017) a tecnologia Blockchain tem sido apresentada como uma alternativa para enfrentar os problemas de fragmentação de dados, interoperabilidade e segurança no gerenciamento e compartilhamento de registros de saúde porque, pelas suas características inerentes: é seguro, anônimo, e não adulterável. Estas características possibilitam que usuários possam contribuir com a área de pesquisa em saúde com seus registros de saúde ou dados coletados de aplicativos de saúde e *fitness*, a médicos, farmácias, hospitais e organizações de pesquisa. Este compartilhamento através do Blockchain visa combater os problemas de violação de segurança ou apropriação indevida de dados que possam impactar negativamente a percepção pública da pesquisa em saúde ou derrubar regulamentações que possam impedir pesquisas futuras (PATIL; SESHADRI, 2014; SWAN, 2015).

No entanto, uma questão que ainda fica em aberto é o desempenho dos ambientes de Blockchain. A plataforma Blockchain Ethereum, por exemplo, permite a construção de aplicativos descentralizados através do uso de contratos inteligentes, os quais são responsáveis por contextualizar o propósito em que a plataforma Blockchain será aplicada. Segundo Pongnumkul, Siripanpornchana e Thajchayapong (2017) e Dinh et al (2017) ainda é necessário uma avaliação mais independente e prática sobre o desempenho dessas plataformas, pois os cenários em que as transações são realizadas não foram explicitamente avaliados para um grande número de casos. Sendo o desempenho uma das maiores preocupações na adoção destas plataformas, devido aos diferentes contextos em que as plataformas Blockchain têm sido aplicadas. Essas informações seriam essenciais para os

profissionais entenderem as limitações e designarem qual plataforma adotar para suas próprias aplicações.

Este trabalho apresenta o *pem4BlockEHR*, um modelo de ambiente para a execução de uma plataforma Blockchain e coleta de dados sobre o desempenho desta plataforma. Para responder à questão de pesquisa "Como é o desempenho de uma aplicação Blockchain aplicada nas transferências de registros de saúde?". O estudo se propõe a apresentar uma análise de desempenho da plataforma Blockchain Ethereum (ETHEREUM FOUNDATION; 2013), na sua versão privada, aplicando a transferência de registros de saúde, utilizando uma pesquisa quantitativa. De forma que os resultados possam contribuir com os demais trabalhos relacionados ao tema, e fornecer embasamento sobre o uso da tecnologia Blockchain aplicada no contexto de registros de saúde.

Figura 1 - Visão de um EHR fragmentado



Fonte: Elaborado pelo autor, com base em ROEHRS; DA COSTA; RIGHI, 2017.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta uma visão geral sobre a definição de registros eletrônicos de saúde. Em seguida, são introduzidos os conceitos de Blockchain, Ethereum (ETHEREUM FOUNDATION; 2013), Contratos Inteligentes, IPFS (PROTOCOL

LABS, 2014), e o Framework BlockBench (DINH et al, 2017) como uma ferramenta auxiliar para a construção das cargas de trabalho e avaliação de desempenho.

## 2.1 Registos Eletrônicos de Saúde

De acordo com a ISO/TR14639 existem três modelos padronizados para o armazenamento eletrônico dos registros de saúde dos pacientes. (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2014). O EMR (*Electronic Medical Record*) é a representação eletrônica do registro médico de um indivíduo em um consultório médico ou clínica. O EHR (*Electronic Health Record*) é o registro eletrônico longitudinal de saúde de um indivíduo. O PHR (*Personal Health Record*) é a representação de informações relacionadas ou relevantes de saúde do indivíduo. (ROEHRS; DA COSTA; RIGHI; DE OLIVEIRA, 2017). No Brasil, um Registro Eletrônico em Saúde (RES) define-se, como um conjunto de informações de saúde e assistência de um paciente durante toda a sua vida. (ARAUJO; PIRES; BANDIERA-PAIVA, 2014, p.556 apud COHEN et al., 2003). O RES utiliza padrões abertos para os dados de saúde, definidos pelo Ministério da Saúde através da portaria no 2.073, de 31 de agosto de 2011.

Assim, um EHR contém o histórico de saúde de um paciente, através da composição de informações de saúde que foram criadas e obtidas de diversos provedores em um formato digital. O compartilhamento e uso seguro de informações eletrônicas de saúde permite que indivíduos, provedores, profissionais e organizações de saúde capturem, troquem e usem informações que possam melhorar a tomada de decisões e a prestação de cuidados mais eficientes centrados no paciente. Uma complementação desta subseção encontra-se no Apêndice A, fornecendo mais detalhes sobre os conceitos aqui relacionados.

## 2.2 Blockchain

A tecnologia Blockchain do ponto de vista comercial pode ser visto como uma plataforma para a troca de informações usando transações sem a necessidade de um intermediário central confiável. O Blockchain também pode ser definido como um livro-razão distribuído, criptograficamente seguro, imutável, atualizável apenas por consenso entre as partes onde todas as transações são registradas em ordem

cronológica e linear. (SWAN, 2015; BASHIR, 2017). Neste contexto, o Blockchain pode ser utilizado como plataforma de transferência de registros de saúde, permitindo que os pacientes possam conceder, conforme necessário, acesso aos seus dados de modo seguro por meio de criptografia. A descentralização proposta pela tecnologia Blockchain permite que as aplicações construídas para a área da saúde possam contribuir para diversos segmentos da mesma área (estilo de vida, histórico de saúde, pesquisa, etc.). Um benefício importante por traz do Blockchain na saúde é que ele fornece uma estrutura para armazenamento de dados de saúde no Blockchain, como um ativo digital. Isso permite que o dado possa ser analisado, permanecer privado, e permitir recompensa pela contribuição e uso desses dados.

### **2.3 Ethereum e Smart Contract**

A Ethereum (ETHEREUM FOUNDATION; 2013) é uma plataforma de Blockchain aberta que permite que qualquer pessoa construa e use aplicativos descentralizados que são executados na tecnologia Blockchain, incluindo, mas não limitando a criptomoedas. A plataforma fornece a descentralização da computação ou do processamento através do uso de contratos inteligentes com lógica de negócios incorporada que são executados na rede Blockchain Ethereum. (BASHIR, 2017). A utilização de contratos inteligentes permite criar representações dos registros de saúde e instruções de recuperação de dados de saúde (ponteiros de dados) para execução em aplicações externas. Assim como outras plataformas de Blockchain, a Ethereum possui um protocolo de rede P2P, onde os nós conectados a rede mantem e atualizam o banco de dados Blockchain Ethereum. Para alcançar um nível de descentralização completo com o uso de Blockchain, é necessário que o ambiente em torno também seja descentralizado. Isso é possível incluindo armazenamento, comunicação e computação. (BASHIR, 2017). A Ethereum permite a descentralização de armazenamento e computação através da combinação de contratos inteligentes e da *Ethereum Virtual Machine* (EVM), que é um ambiente de tempo de execução para os contratos inteligentes. Apesar da tecnologia Blockchain permitir o armazenamento de algumas transações simples e dados arbitrários. Essa abordagem é inadequada para o armazenamento de imagem e grande quantidade de dados. (BASHIR, 2017).



## 2.4 IPFS

O IPFS (PROTOCOL LABS, 2014) é um sistema de arquivos distribuído P2P que procura conectar todos os dispositivos de computação com o mesmo sistema de arquivos. (BANET). Também definido como um protocolo de distribuição de hipermídia, fornece um modelo de armazenamento em bloco de alta resolução do conteúdo com hyperlinks endereçado ao conteúdo. Quando um arquivo é adicionado ao IPFS, ele e todos os blocos contidos nele recebem uma impressão digital única chamada de *hash* criptográfico. Este *hash* é utilizado para solicitar que a rede encontre o nó de armazenamento do arquivo. O protocolo IPFS e o Blockchain podem ser combinados para endereçar grandes quantidades de dados, ao vincular o *hash* criptográfico do IPFS em uma transação do Blockchain é possível criar um registro permanente e imutável com data e hora protegendo o conteúdo sem a necessidade de colocar o dado na própria cadeia. Permitindo que o IPFS seja usado como um protocolo de transporte para aplicativos mais complexos. O Blockchain, de forma limitada, pode fornecer uma camada de armazenamento, mas isso dificulta a velocidade e a capacidade do sistema. (BASHIR, 2017). Portanto, as características do IPFS fornecem um mecanismo de armazenamento de registros de saúde e imagens médicas distribuído. Através de um contrato inteligente do Ethereum é possível vincular o endereçamento destas informações no Blockchain.

## 2.5 BlockBench

O *Framework* BlockBench (DINH et al, 2017) é proposto como uma estrutura de avaliação para análise de Blockchains privados. O *framework* foi projeto para uma análise quantitativa de Blockchains privados como plataformas de processamento de dados. Além de ser uma ferramenta *open source*, possui cargas de trabalho de processamento de dados frequentemente encontradas em *benchmarks* de banco de dados, e permite que cargas de trabalho customizadas sejam carregadas para realizar as análises. O *framework* serve como um meio de comparação de diferentes plataformas de Blockchain permitindo uma compreensão mais profunda das diferentes opções de design dos sistemas. O *framework* mede o desempenho geral em termos de produtividade, latência, escalabilidade e tolerância a falhas.

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

A base inicial para propor o modelo vem da pesquisa de trabalhos relacionados aos temas: gerenciamento de registros eletrônicos de saúde utilizando a tecnologia Blockchain, e análise de desempenho das plataformas de Blockchain, com o ano de publicação a partir de 2015. Os trabalhos foram pesquisados em portais reconhecidos nas áreas de computação e saúde como: IEEE, Google Acadêmico, NCBI e PubMed. A partir do retorno da pesquisa foram selecionados três trabalhos relevantes a cada um dos temas pesquisados. A lista de trabalhos selecionados consta na Tabela 1 do Apêndice B.

#### 3.1 Gerenciamento de Registros Eletrônicos de Saúde

Os trabalhos relacionados a este tema foram selecionados usando como critério: abordar o problema no gerenciamento de registros de saúde no que diz respeito a falta de interoperabilidade entre os diferentes provedores de saúde, e propor um modelo descentralizado para o gerenciamento de registros eletrônicos de saúde usando como base a tecnologia Blockchain. A Tabela 2 do Apêndice B lista os principais problemas identificados no gerenciamento dos registros de saúde e os principais benefícios que um modelo descentralizado proporciona.

A proposta do MedRec (AZARIA et al, 2016) é um sistema descentralizado para o gerenciamento de registros médicos eletrônicos utilizando a plataforma Blockchain Ethereum, de forma que o paciente possa ter uma visão unificada de seu histórico médico, e possa gerenciar o compartilhamento de seus dados entre os provedores de saúde. Através de uma integração com as soluções de armazenamento de dados existentes dos provedores de saúde, facilitando a interoperabilidade.

A proposta do OminiPHR (ROEHRS; DA COSTA; RIGHI, 2017) é um modelo de arquitetura distribuída e interoperável onde pacientes e profissionais de saúde possam ter acesso aos dados de PHR distribuídos em diferentes organizações de saúde. Permitindo aos pacientes uma visão unificada de seu histórico médico, e aos profissionais de saúde acesso para consultar e interconectar os dados de seus pacientes armazenados em diferentes organizações de saúde. O trabalho também abordou os desafios relacionados a distribuição, escalabilidade e interoperabilidade.

O modelo de Cunningham e Ainsworth (2017) consiste em um sistema personalizado de controle de acesso aos registros médicos, onde o paciente pode personalizar o nível de visualização de seus dados médicos concedidos aos profissionais de saúde para fins de pesquisa. O modelo utilizou a plataforma Blockchain Ethereum para promover a camada de serviço que será responsável pelo gerenciamento de permissões, usufruindo dos recursos de distribuição, segurança e confidencialidade implementados pela plataforma Blockchain.

A partir dos problemas listados na Tabela 2 do Apêndice B os trabalhos relacionados se propõem a utilizar a tecnologia Blockchain, ou suas características, como um meio de chegar aos benefícios de um modelo descentralizado para o gerenciamento de registros de saúde. A Tabela 3 do Apêndice B destaca os pontos abordados nos trabalhos com relação ao cruzamento destas informações.

### **3.2 Análise de Desempenho das Plataformas Blockchain**

Os trabalhos relacionados a este tema foram selecionados usando com critérios: abordar uma metodologia para coletar dados para uma análise de desempenho, observar problemas relacionados a desempenho ou disponibilidade de sistemas de Blockchain e apresentar resultados sobre os dados coletados. A Tabela 4 do Apêndice B lista os principais problemas identificados nas plataformas de Blockchain e os principais benefícios na utilização do Blockchain para o compartilhamento de informações.

O trabalho de Dinh et al (2017), apresentou o estado da arte dos sistemas Blockchain privados categorizando-os em quatro conceitos técnicos: livro-razão distribuído, criptografia, protocolo de consenso e contratos inteligentes. Em seguida uma estrutura de *benchmarking*, o BlockBench, para avaliar o desempenho de plataformas de Blockchain privadas em relação a carga de trabalho e processamento de dados. Uma avaliação abrangente foi realizada em três plataformas de Blockchain, comparando os resultados obtidos com o desempenho de um sistema de banco de dados. Por fim, apresentou quatro princípios de *design* existentes em banco de dados para melhorar o desempenho de sistemas Blockchain.

O trabalho de Pongnumkul, Siripanpornchana e Thajchayapong (2017), apresentou uma análise de desempenho de duas plataformas de Blockchain privadas. Através de uma metodologia com foco em um número variável de transações. A

avaliação foi realizada com uma aplicação sintética para a transferência de dinheiro de uma conta para outra. Os resultados foram apresentados e discutidos com a finalidade de contribuir na tomada de decisão dos profissionais para a escolha de uma plataforma Blockchain, e complementar o trabalho desenvolvido por Dinh et al (2017).

O trabalho de Weber et al (2017), é um estudo sobre as limitações de disponibilidades de dois sistemas de Blockchain. As observações foram realizadas sobre as funções que estes sistemas precisam para o seu funcionamento. O estudo fez uma investigação sobre os fatores que influenciam os problemas de disponibilidades dos dois sistemas de Blockchain, propôs um mecanismo para abortar as transações pendentes e determinar sob quais condições as transações podem ser abortadas.

A partir dos principais problema e benefícios identificados com relação ao desempenho de plataformas Blockchain, a Tabela 5 do Apêndice B destaca o cruzamento destas informações relacionando com os trabalhos selecionados.

### **3.3 Oportunidades de Pesquisa**

Construir sistemas distribuídos para o gerenciamento de registros de saúde tem se apresentado como uma proposta de solução frequente devido aos cenários identificados nos trabalhos pesquisados. Estes cenários compreendem proporcionar ao paciente uma visão unificada de seu histórico de saúde, e proporcionar ao paciente o controle sobre seus dados em termos de visualização e compartilhamento com terceiros. A Tabela 6 do Apêndice B apresenta um cruzamento das principais características identificadas nos trabalhos relacionando-as com os principais problemas e benefícios enfrentados pelos registros eletrônicos de saúde e plataformas Blockchain.

No cenário padrão de utilização do Blockchain, as criptomoedas, a tecnologia tem apresentado alguns problemas de desempenho e disponibilidade. Diante da compreensão desses conceitos é possível identificar que existe uma oportunidade de pesquisa em realizar uma avaliação de desempenho de uma plataforma de Blockchain aplicando-a na transferência de registros de saúde, criando cenários que possam contextualizar a transferência de registros eletrônicos de saúde entre pacientes e profissionais, além de simular o acesso a uma plataforma externa para obter os dados do registro de saúde do paciente.

## 4 MODELO PEM4BLOCKEHR

Esta seção visa apresentar o modelo *pem4BlockEHR*. O modelo apresenta um ambiente de execução de uma plataforma Blockchain aplicada à prontuários eletrônicos de saúde, para que cargas de teste sejam aplicadas a fim de realizar uma avaliação de desempenho do Blockchain. A seguir, uma visão geral do modelo é apresentada destacando os módulos de composição e suas principais funcionalidades. Em seguida cada módulo é detalhado apresentando as entradas, saídas e funcionalidades de cada etapa.

### 4.1 Visão Geral

O modelo *pem4BlockEHR* está dividido em duas etapas macro que devem ser executadas em momentos distintos. A primeira consiste em montar o ambiente de execução com uma plataforma Blockchain e a segunda etapa em carregar os experimentos para a coleta de dados. Na Figura 2 do Apêndice C observamos uma visão geral do modelo.

Na etapa (1), *antes da avaliação*, existem dois módulos de configuração que devem ser executados a fim de obter o ambiente de execução funcional, estes módulos são:

- a) blockEHR: corresponde a instalação dos softwares necessários para configuração do ambiente de execução, este módulo é responsável por executar as cargas de trabalho;
- b) Pré-configuração: corresponde a construção e carregamento da aplicação sintética a ser utilizada para a avaliação, ou seja, a API de comunicação e os contratos inteligentes. Esta aplicação sintética consiste nas regras utilizadas nas transferências de registros de saúde.

Na etapa (2), *durante a avaliação*, existem dois módulos que devem ser executados durante o período de avaliação, após a finalização da etapa 1, estes módulos são:

- c) Carga de trabalho: este módulo corresponde ao carregamento do conjunto de experimentos a serem aplicados no módulo blockEHR;
- d) Coleta de dados: este módulo corresponde a coleta dos dados que serão utilizados para análise e aplicação das métricas de avaliação.

A seguir detalhamos as funcionalidades e composição dos módulos de cada etapa.

## 4.2 Configuração do Modelo

Este é o primeiro passo a ser executado para a configuração do modelo *pem4BlockEHR*. Esta etapa inicia pela definição da plataforma de Blockchain a ser avaliada. Algumas premissas devem ser levadas em consideração para esta escolha, a fim de que o modelo possa comportar seu objetivo. Em seguida os módulos (a) blockEHR e (b) Pré-configuração são executados. Estes módulos estão detalhados de forma que eles possam ser executados em mais de uma plataforma de Blockchain com base nas premissas de escolha.

### 4.2.1 Módulo blockEHR

Esta seção apresenta os componentes do design do módulo blockEHR. O objetivo deste módulo é construir um ambiente de execução funcional a partir da integração de uma plataforma Blockchain com o protocolo IPFS e a API Gateway, a Figura 3 do Apêndice C apresenta uma visão geral do ambiente funcional com a integração do Blockchain e IPFS. Na Figura 3 do Apêndice C o componente central, API Gateway, é uma aplicação *front-end* responsável pela comunicação do paciente e profissional de saúde com as aplicações de *back-end* Blockchain e IPFS. O profissional de saúde interage com um repositório local de armazenamento dos registros de saúde de um paciente. A seguir estão detalhados os componentes deste módulo.

#### 4.2.1.1 Plataforma Blockchain

A escolha da plataforma Blockchain a ser configurada deve ter como premissas: possuir uma implementação privada, permitir a implementação e implantação de contratos inteligentes; e permitir um meio de comunicação para a coleta de dados para a análise de desempenho. Mais detalhes sobre as premissas e objetivos da plataforma Blockchain contam no Apêndice C.

#### 4.2.1.2 API Gateway

A API Gateway neste modulo é responsável pela comunicação do paciente e profissional de saúde com as aplicações Blockchain e IPFS, como pode ser visualizado na Figura 3 do Apêndice C. É esperado que a API execute os seguintes fluxos de interações:

- a) Permitir ao paciente criar uma conta, e ser integrada a plataforma Blockchain (fluxo 1-2, representado pela Figura 5);
- e) Permitir ao paciente transferir seu registro de saúde a um profissional de saúde, por meio do Blockchain (fluxo 1-2-3, representado pela Figura 6);
- f) Permitir ao paciente localizar seu registro de saúde, por meio da rede IPFS (fluxo 1-4, representado pela Figura 7);
- g) Permitir ao profissional de saúde criar uma conta, e ser integrada a plataforma Blockchain (fluxo 3-2, representado pela Figura 5);
- h) Permitir ao profissional de saúde localizar um registro de saúde do paciente, por meio da rede IPFS (fluxo 3-4, representado pela Figura 7);
- i) Permitir ao profissional de saúde vincular um registro de saúde ao prontuário de um paciente. O registro de saúde localizado no repositório local do profissional de saúde é enviado para armazenamento a rede IPFS (fluxo 5-3-4), após obter o *hash* de endereçamento do registro este é vinculado a conta do paciente por meio da plataforma Blockchain (fluxo 3-4-2-1, representado pela Figura 8).

Estes fluxos são executados a partir dos contratos inteligentes carregados na plataforma Blockchain e implementação da API de comunicação com a rede IPFS. A implementação e carregamento dos contratos inteligentes e a construção da API estão previstos para serem executados no módulo de (b) Pré-configuração definido na Figura 2 do Apêndice C. As figuras de representação dos fluxos detalhados acima estão listadas no Apêndice C.

#### 4.2.1.3 IPFS

O objetivo do protocolo IPFS (PROTOCOL LABS, 2014) integrado à plataforma Blockchain é fornecer uma rede distribuída de armazenamento de registros de saúde, fornecendo um endereçamento através de um *hash* criptográfico. Este

endereçamento corresponde a um *link* permanente e imutável de acesso ao dado, o qual pode ser incluído em uma transação do Blockchain. A Figura 3 do Apêndice C mostra os usuários paciente e profissional de saúde interagindo com o IPFS por meio de uma API Gateway. A Figura 4 do Apêndice C apresenta uma visão do fluxo de comunicação entre paciente e profissional de saúde. Mais detalhes sobre as interações representadas nestas figuras constam no Apêndice C.

#### 4.2.2 Módulo de Pré-configuração

Neste módulo ocorre a construção e carregamento da aplicação sintética e a implementação da API Gateway para a comunicação com a plataforma Blockchain. A API Gateway neste módulo possui uma integração de ferramentas que permitem implementar, compilar, testar e implantar os contratos inteligentes à plataforma de Blockchain. Os contratos inteligentes implantados no Blockchain são os responsáveis por executar as regras de negócio específicas para o contexto em que o Blockchain está sendo aplicado, como a funcionalidade de transferência de registros de saúde. A implementação destes contratos pode mudar conforme a plataforma de Blockchain escolhida. E as cargas de trabalho devem ser construídas de acordo com as regras implementadas nos contratos.

Para que o objetivo do modelo seja atingido os contratos devem conter as seguintes funcionalidades para a construção de uma aplicação sintética de prontuários eletrônicos de saúde, para que seja executada pelo módulo blockEHR. As seguintes funcionalidades estão descritas:

- a) Criar conta: função para criar a conta de paciente e profissional de saúde (usuários);
- b) Inserir um registro de saúde: função para inserir um registro de saúde em uma conta de paciente já existente. Esta inserção consiste em vincular o *hash* de endereçamento (gerado pelo IPFS) do registro de saúde na conta do usuário;
- c) Consultar um registro: função para consultar o registro de saúde de um paciente já existente. Esta consulta será obter o registro de saúde do paciente através do *hash* do registro de endereçamento (gerado pelo IPFS);
- d) Transferir um registro de saúde: função para transferir o registro de saúde de um paciente para um profissional de saúde. O profissional de saúde irá



receber o registro do paciente, este pode invocar a função consultar um registro para obtê-lo.

A Figura 9 do Apêndice C apresenta um modelo de contrato o registro de saúde (EHR), paciente (*Patient*) e o profissional de saúde (*Professional*), este é um modelo simplificado com as funções para adicionar um registro de saúde (*addEhr*), transferir um registro de saúde (*transferEhr*) e adicionar um registro de saúde ao paciente (*addEhrToPatient*).

### 4.3 Cargas de Trabalho de Avaliação

Este passo é executado durante o período de avaliação do modelo *pem4BlockEHR*, tem como premissa a conclusão da etapa 1. Os módulos de carga de trabalho e coleta de dados devem ser executados até o término do período de avaliação conforme a definição dos experimentos.

#### 4.3.1 Módulo de Carga de Trabalho

Neste módulo será utilizada a API Gateway, que é o meio de comunicação com a plataforma Blockchain. Através de uma coleção de bibliotecas fornecidas pela respectiva plataforma de Blockchain, a API permite interagir com um nó da rede local ou remoto. Essas bibliotecas disponibilizam interfaces para a conexão com a rede Blockchain, interface para implantar um contrato inteligente e interagir com as funcionalidades implementadas no contrato inteligente, e interface para a execução das cargas de trabalho. Desta forma, as cargas de trabalho são construídas através da chamada do nome de uma funcionalidade implementada no contrato inteligente, e enviadas ao Blockchain para serem executadas como uma transação para o contrato inteligente.

#### 4.3.2 Módulo de Coleta de Dados

Este módulo descreve como os dados de saída da execução de uma carga de trabalho são disponibilizados para análise. O módulo também fará uso da API Gateway para a coleta dos dados, e das bibliotecas fornecidas pela respectiva plataforma de Blockchain. As solicitações enviadas ao Blockchain são assíncronas,

ou seja, as transações são enviadas ao Blockchain e processadas posteriormente. Essas transações recebem um identificador que pode ser utilizado para verificar os dados contidos na transação. Uma transação possui a informação do bloco que a coletou, podendo um bloco coletar mais de uma transação. Entre as informações armazenadas em um bloco está o *timestamp*, que corresponde ao tempo do *unix* de coleta do respectivo bloco. Desta forma, a API permite consultar uma lista de blocos gerados pelo Blockchain e obter o tempo entre a coleta e a confirmação das transações contidas no bloco. A confirmação de um bloco depende do tamanho da cadeia configurada na plataforma Blockchain. Os dados coletados podem ser utilizados para avaliar uma plataforma Blockchain em relação as métricas de desempenho de taxa de transferência (*throughput*) e latência.

## 5 METODOLOGIA E IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

Esta seção visou descrever as etapas de implementação do modelo *pem4BlockERH* e a definição do método de análise dos dados. Com o objetivo de obter a resposta da questão de pesquisa. Conforme foi descrito na seção Modelo, as etapas 1 e 2 foram executadas na ordem recomendada, sendo o primeiro passo para a implementação a escolha da plataforma Blockchain a ser avaliada.

### 5.1 Implementação do Modelo *pem4BlockEHR*

Com base nas premissas descritas para a plataforma Blockchain na seção Modelo, a implementação fez uso da plataforma Blockchain Ethereum na sua implementação oficial em Go na versão 1.8.15. Esta plataforma permite a implementação de contratos inteligentes para criar aplicativos descentralizados, e fornece uma coleção de bibliotecas que permitem interagir com um nó local ou remoto usando conexão HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) ou WebSocket. A configuração da infraestrutura utilizou uma instância Amazon EC2 do tipo *t2.medium*, que fornece 2 CPUs e 4GB de memória. Nesta instância foi instalado o sistema operacional Ubuntu 18.04 (LTS), o software Docker que é uma tecnologia que fornece containers e foi responsável por criar uma rede Blockchain Ethereum com dois nós, um para mineração e outro para a comunicação com a API Gateway. O software Node.js que

é um interpretador de código JavaScript utilizado para a execução das cargas de trabalho.

#### 5.1.1 API Gateway e Aplicação Sintética

Na etapa de pré-configuração ocorreu a construção da API Gateway e a da aplicação sintética para a transferência de registros de saúde, com base nas funcionalidades descritas na seção Modelo. Na construção da API foram utilizadas como ferramentas auxiliares, a API *JavaScript Web3.js*, na versão 1.0.0-beta.34 da Ethereum, o *Framework Truffle* na versão 4.1.14, e os scripts para o envio das cargas de trabalho ao Blockchain usando *JavaScript* e *Node.js* na versão 8.12.0. A API Gateway é uma ferramenta para auxiliar na construção, testes e implantações dos contratos inteligentes previstos na seção de Modelo. O contrato inteligente para o Ethereum foi implementado na linguagem *Solidity*, na versão 0.4.24, depois compilado em *bytecode* da EVM. Testes unitários para os contratos inteligentes foram escritos a fim de testar as funcionalidades previstas e prevenir possíveis erros antes da implantação do contrato no Ethereum.

#### 5.1.2 Cargas de Trabalho

O experimento consistiu em um cliente enviar uma solicitação N de uma transação do tipo F a ser invocada no modelo *pem4BlocKEHR*, de forma assíncrona, ou seja, as solicitações foram enviadas sem esperar por uma resposta do Blockchain. O número de solicitações (N) foi definido como 1, 50, 100, 500, 1.000, 5.000 e 10.000. O tipo de transação (F) corresponde a uma das funcionalidades implementadas no contrato inteligente, que foram descritas na seção de Modelo. Os registros de saúde utilizados nas cargas de trabalho foram carregados na plataforma IPFS durante a execução da etapa de pré-configuração. A fim de obter uma lista com os endereçamentos dos registros que foram utilizados na funcionalidade de transferência de registro de saúde. Os scripts de carga de trabalho foram implementados para enviar um lote de transações de forma sequencial, ou seja, uma transação após a outra sem intervalo de tempo. E um lote de transações com um intervalo de tempo entre as transações, a cada 5 transações um intervalo de 5 segundos até atingir o

número de solicitação (N) definido para o experimento. As cargas de trabalho foram executadas no modelo através da API Gateway durante o período de avaliação.

#### 5.1.4 Coleta de Dados

Os dados foram coletados com o auxílio da API Gateway. Cada transação enviada ao Blockchain Ethereum foi interceptada a fim de coletar os dados de tempo referente a implantação e conclusão da transação. Uma transação foi considerada implantada quando coletada por um bloco, este possui a informação de tempo (*timestamp*) de coleta, podendo ainda o bloco conter mais de uma transação. Uma transação foi considerada concluída após 24 (vinte e quatro) confirmações, neste momento a informação de tempo final foi coletada.

### 5.2 Definição do Método

O método quantitativo caracteriza-se pela quantificação das informações tanto na coleta quanto no tratamento delas por meio de técnicas estatísticas. (RICHARDSON, 1999). O papel do método estatístico é fornecer uma descrição quantitativa de um conjunto de dados, especificando as características dos membros desse grupo, mede-se a sua importância ou a variação, ou qualquer outro atributo quantificável que contribua para o seu melhor entendimento. (MARCONI; LAKATOS, 2003). Portanto, a análise de dados numéricos por meio de técnicas estatísticas descritivas permite que os dados coletados a partir dos experimentos aplicados ao modelo sejam descritos na forma de quantidades, frequências e médias. Este instrumento de pesquisa permite apresentar os resultados de forma mais precisa ao descrever os fatos, possibilitando a sumarização dos fatos de maneira significativa e convincente. (DENCKER; DA VIÁ, 2001).

Assim, a análise de desempenho focou em um número variável de transações enviadas ao Blockchain, onde a aplicação do método visou quantificar os dados de tempo de execução, latência, taxa de transferência, possibilitando identificar os problemas de desempenho e limitações do Blockchain Ethereum aplicado a prontuários eletrônicos.

### 5.2.1 Análise dos Dados

A execução dos experimentos no Blockchain Ethereum gerou os dados de tempo de implantação da transação ( $T_i$ ) e tempo de conclusão da transação ( $T_c$ ), estes dados corresponde ao tempo do *unix* para que uma transação seja implantada e para que uma transação seja confirmada respectivamente. Estes dados estão no formato *unix timestamp* que corresponde a um número X de segundos desde 1º de janeiro de 1970 UTC. Ao final de cada experimento um arquivo de log com os dados de tempo de implantação ( $T_i$ ), tempo de conclusão ( $T_c$ ), e latência ( $L_t$ ) foram produzidos. As métricas de avaliação relacionadas ao tempo de execução ( $T_e$ ), Latência média ( $L_{tm}$ ) e taxa de transferência ( $T_f$ ), foram calculadas para cada conjunto de experimentos. O Quadro 1 do Apêndice D apresentou as métricas de avaliação.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir da implementação do modelo *pem4BlockEHR*, em termos de tempo total de execução, tempo médio de execução, latência média e taxa de transferência das cargas de trabalho, a definição das métricas constam na seção de Metodologia e Implementação do Modelo.

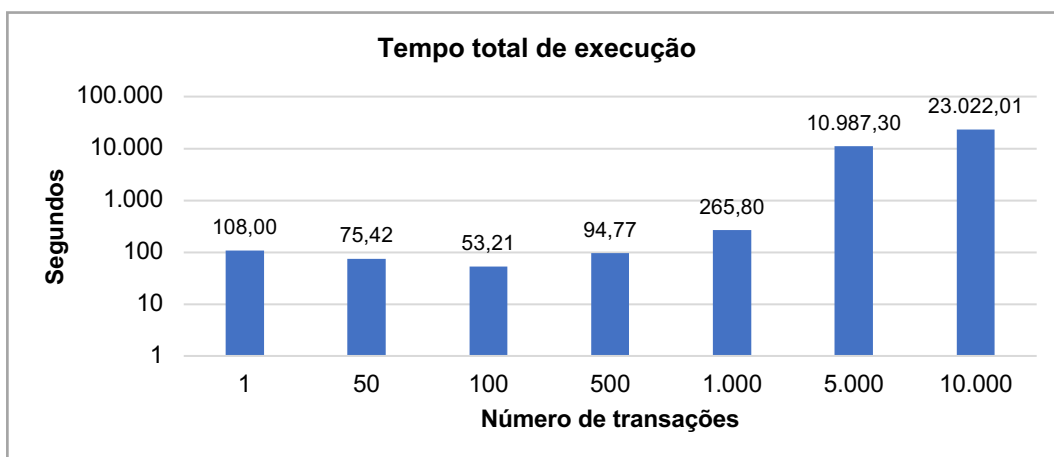
### 6.1 Tempo de Execução

As medidas de tempo de execução foram obtidas através de um número variável de transações enviadas ao Ethereum, esta medida corresponde ao tempo total em segundos para implantar e confirmar todas as transações de uma determinada carga de trabalho. Até a carga de trabalho com 1.000 transações o Ethereum foi capaz de coletar todas as transações em um único bloco, e executar 24 confirmações para cada transação. Já as cargas de trabalho com 5.000 e 10.000 transações não foram possíveis de ser executadas no Ethereum sem a adição de um intervalo de tempo entre as transações. O Gráfico 1 apresenta o tempo total de execução por número de transações. Observamos que o tempo total de execução das cargas de 50, 100 e 500 transações foi inferior ao tempo total de execução das cargas com 1 e 1.000 transações. Já as cargas maiores com 5.000 e 10.000 transações

obtiveram um tempo total de execução maior devido ao intervalo de tempo adicionado entre as transações.

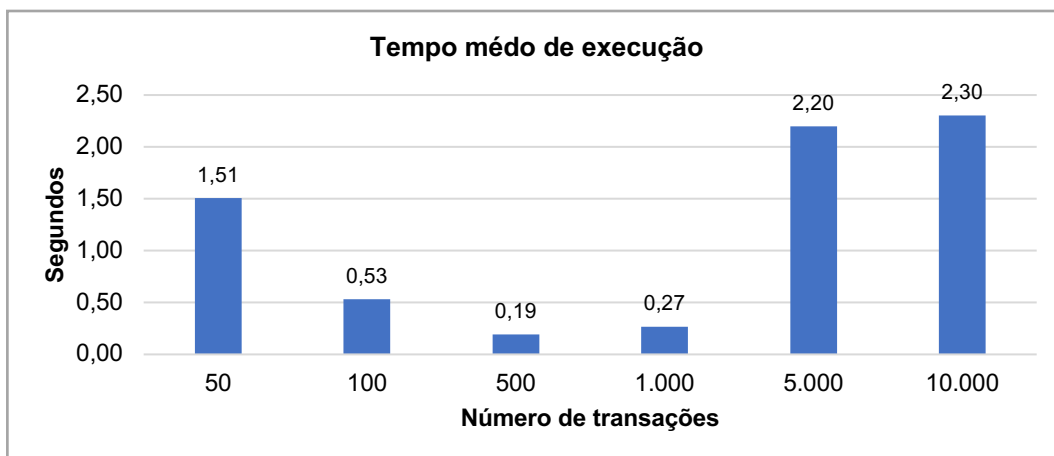
A medida de tempo médio de execução corresponde a média de tempo em segundos em que cada transação levou para ser implantada e confirmada na respectiva carga de trabalho. Nesta análise a carga de trabalho com 1 transação foi desconsiderada. No Gráfico 2 observamos que o tempo médio de execução para a carga de 50 transações é superior aos tempos obtidos com as cargas de 100, 500 e 1.000 transações, estas cargas apresentaram um tempo médio abaixo de 1 segundo por transação. Já as cargas maiores com 5.000 e 10.000 transações demonstraram um tempo médio de execução acima de 2 segundos devido ao intervalo de tempo adicionado entre as transações.

Gráfico 1 - Tempo total de execução por número de transações



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 2 - Tempo médio de execução por número de transações

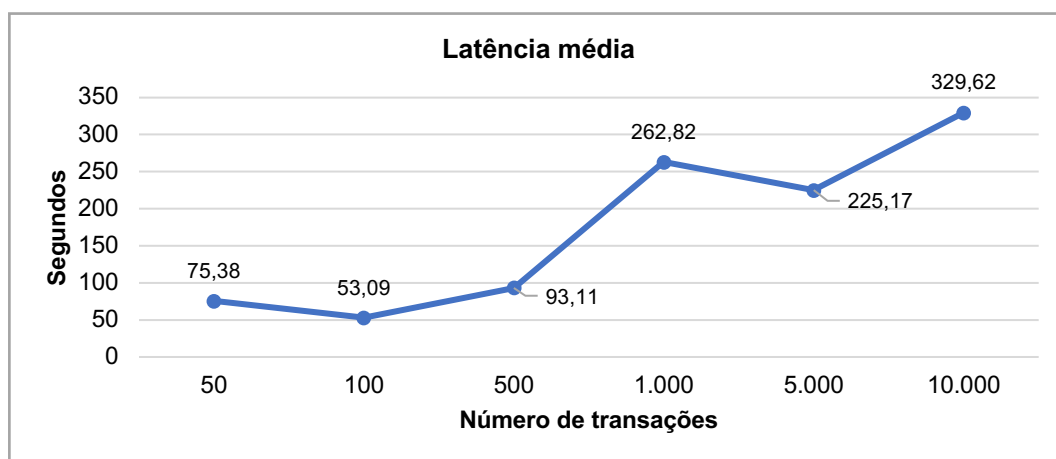


Fonte: Elaborado pelo autor.

## 6.2 Latência Média

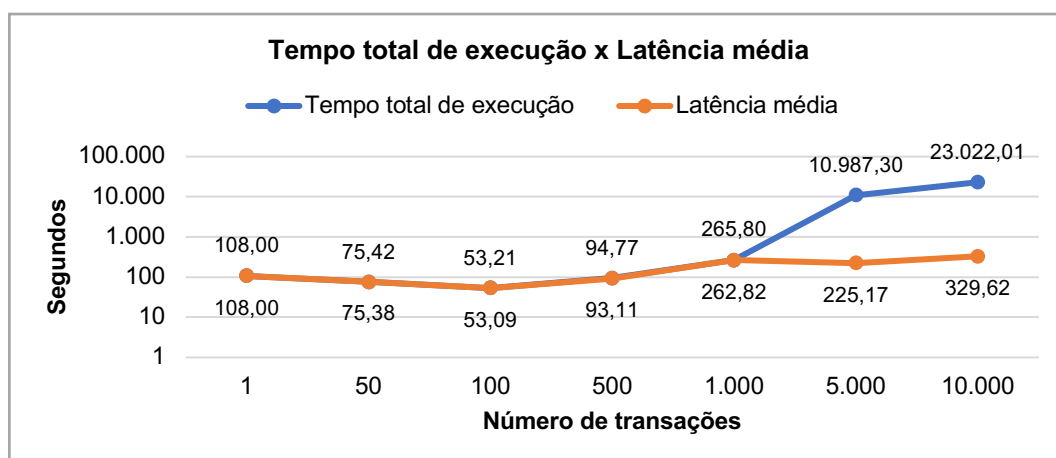
A medida de latência média corresponde a diferença de tempo médio, em segundos, entre a confirmação e implantação das transações em cada carga de trabalho. No Gráfico 3 observamos que as cargas a partir de 1.000 transações demonstraram um aumento na latência comparada com as cargas menores, acima de 200 segundos. No Gráfico 4 temos um comparativo entre o tempo total de execução e a latência média das cargas de trabalho. As cargas com até 1.000 transações não apresentaram uma diferença relevante entre o tempo total de execução e a latência média. Entretanto, as cargas acima de 1.000 transações apresentaram um tempo total de execução superior, porém a latência média apresentou valores semelhantes entre as cargas de 1.000, 5.000 e 10.000 transações.

Gráfico 3 – Latência média por número de transações



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 4 – Tempo total de execução x Latência média

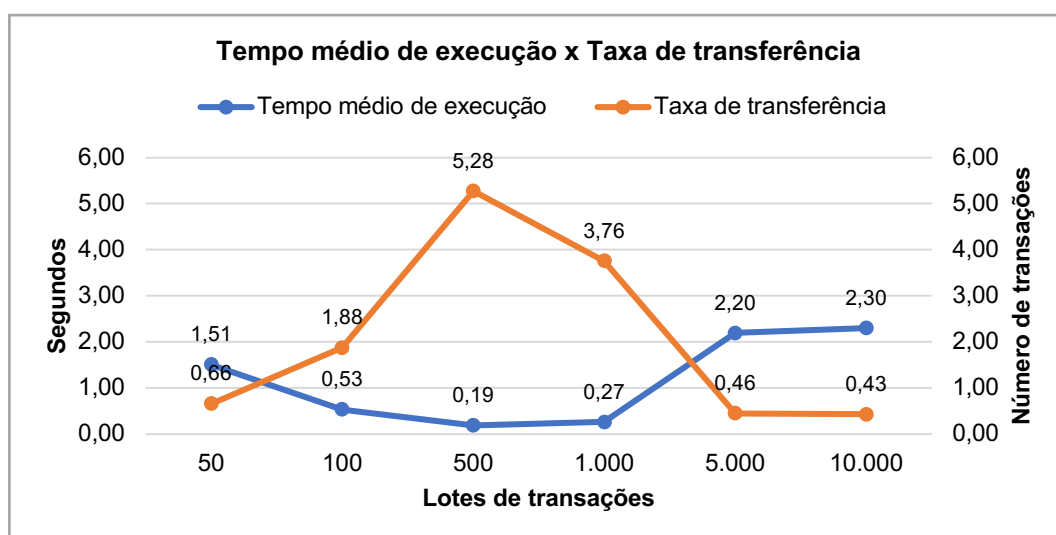


Fonte: Elaborado pelo autor.

### 6.3 Taxa de Transferência

A medida de taxa de transferência corresponde ao número de transações executadas por segundo na respectiva carga de trabalho. No Gráfico 5 temos um comparativo entre o tempo médio de execução e a taxa de transferência por número de transações. As cargas com 100, 500 e 1.000 transações demonstraram a melhor taxa de transferência, comparando com a carga de 50 transações. Sendo que as cargas 5.000 e 10.000 transações apresentaram um rendimento menor, com valor inferior a uma transação por segundo devido ao intervalo de tempo adicionado entre as transações.

Gráfico 5 – Tempo médio de execução x Taxa de transferência



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 6.5 Cargas com Mil Transações

Durante o período de avaliação do modelo foi identificado que o Ethereum suportou até 1.000 transações enviadas de forma sequencial, ou seja, foi enviada uma transação após a outra sem intervalos. Sendo que todas as transações foram coletadas pelo mesmo bloco e processadas posteriormente. Para as cargas maiores foi necessário adicionar um intervalo de 5 segundos para cada 5 transações, este intervalo influenciou em um número maior de blocos gerados na coleta de transações, em torno de 5 a 10 transações por bloco. Os experimentos foram realizados em quatro lotes de 1.000 transações, sendo dois lotes sem intervalo e dois lotes com o intervalo de 5 segundos a cada 5 transações.



No Gráfico 6 temos um comparativo do tempo total de execução para os lotes de 1.000 transações. Os Lotes 1 e 2 foram executados sem o intervalo, e os Lotes 3 e 4 com o intervalo de 5 segundos. As transações do Lote 1 foram coletadas pelo bloco de número 201, e as transações do Lote 2 pelos blocos de número 6131 e 6132. As transações do Lote 3 foram coletadas no intervalo de blocos de número 4044 até 4301. Já as transações do Lote 4 foram coletadas no intervalo de blocos de número 6236 até 6470, sendo que nem todos os blocos dos intervalos foram utilizados para a coleta das transações.

No Gráfico 7 temos um comparativo do tempo médio de execução dos lotes por número de transações. Os Lotes 1 e 2 apresentaram um tempo médio abaixo de 1 segundo por transação. Já os Lotes 3 e 4 apresentaram um tempo médio acima de 1,5 segundos por transação.

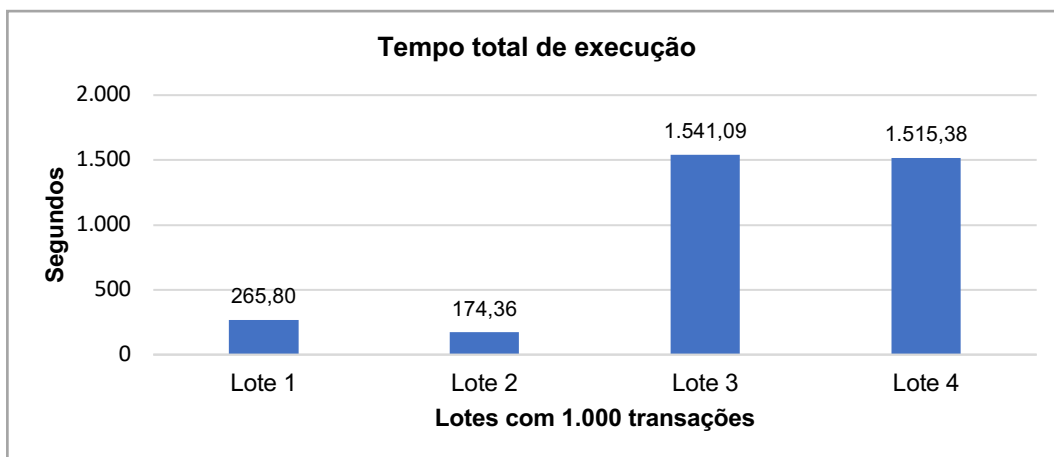
O Gráfico 8 apresenta a latência média entre a confirmação e implantação das transações para cada lote de 1.000 transações. Os Lotes 3 e 4 foram executados com o intervalo entre as transações, e apresentaram uma latência menor que os Lotes 1 e 2 os quais foram executados sem o intervalo entre as transações.

No Gráfico 9 temos um comparativo entre o tempo total de execução e a latência média para os lotes de 1.000 transações. Nos Lotes 1 e 2 foi obtido tempos semelhantes entre execução e latência, sendo que os Lotes 3 e 4 foi obtida uma diferença de tempo maior entre execução e latência devido a adição do intervalo entre as transações. Porém, de um modo geral a latência média foi mantida com valores semelhantes entre todos os lotes.

No Gráfico 10 temos um comparativo entre o tempo médio de execução e a taxa de transferência (número de transações por segundo) para os lotes de 1.000 transações. Os Lotes 1 e 2 apresentaram o melhor nível de rendimento, acima de 3 transações por segundo. Já os Lotes 3 e 4 apresentaram um rendimento menor devido ao intervalo adicionado entre as transações.

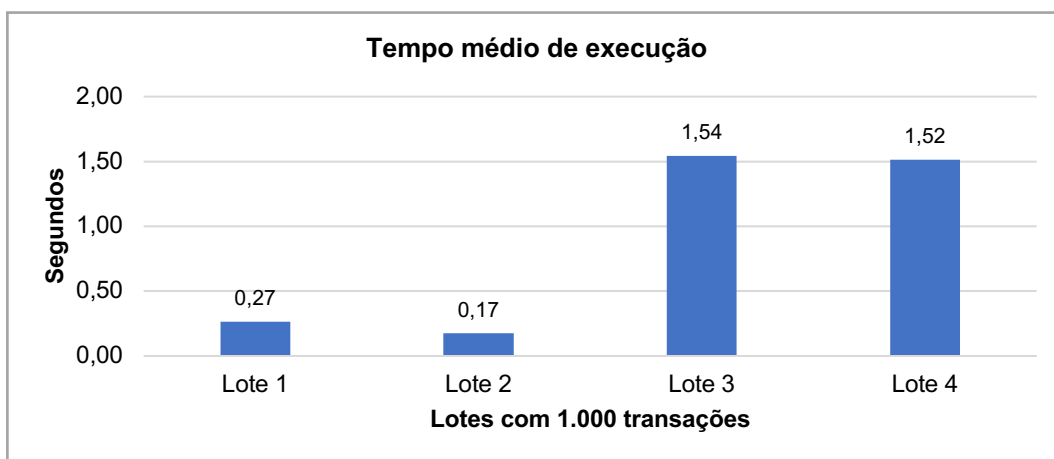
Esta avaliação visou identificar se a adição do intervalo influenciou nas métricas de tempos de execução, latência e taxa de transferência. Os resultados demonstraram que os Lotes 3 e 4 obtiveram um tempo maior de execução e um menor rendimento devido ao intervalo adicionado. Esta mesma diferença também foi obtida com as cargas de 5.000 e 10.000 transações as quais o Ethereum somente conseguiu executar com a adição do intervalo de tempo.

Gráfico 6 - Tempo total de execução por mil transações



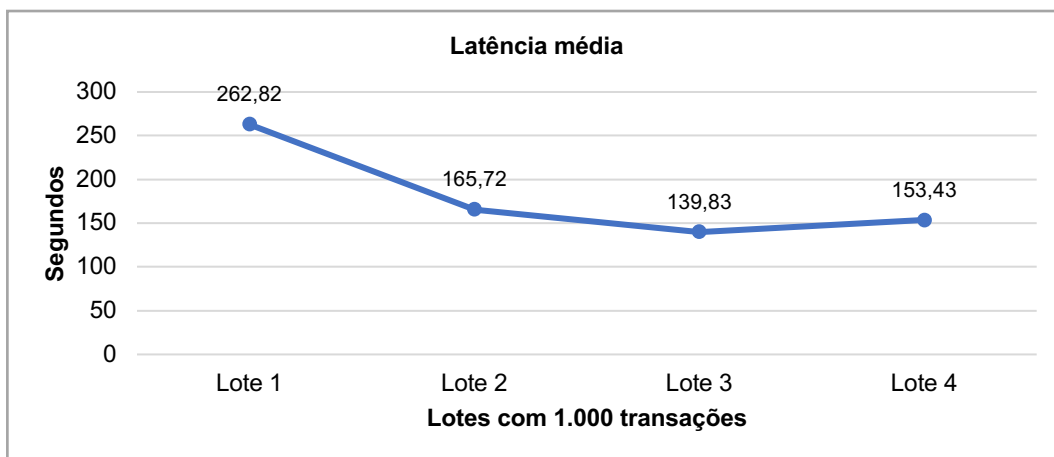
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 7 - Tempo médio de execução por mil transações



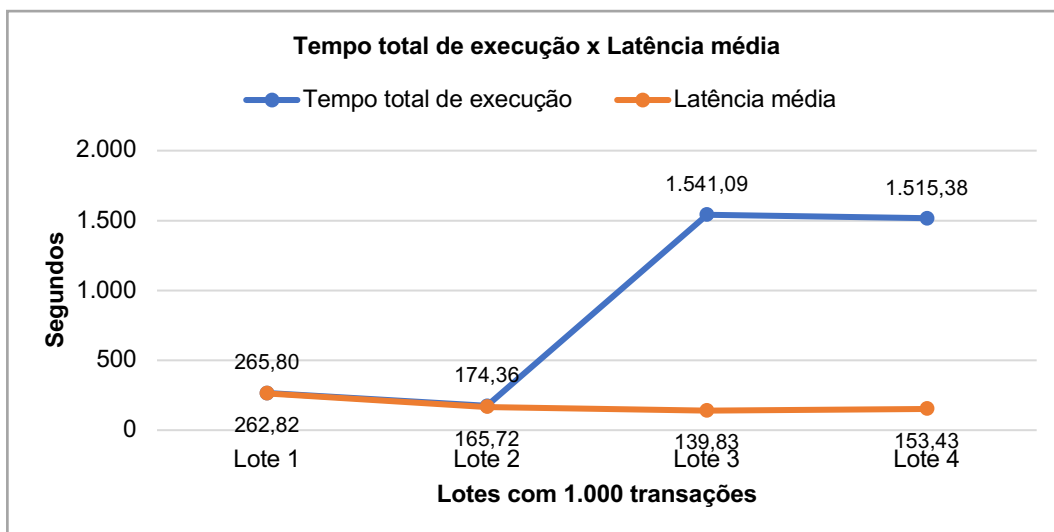
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 8 – Latência média por mil transações



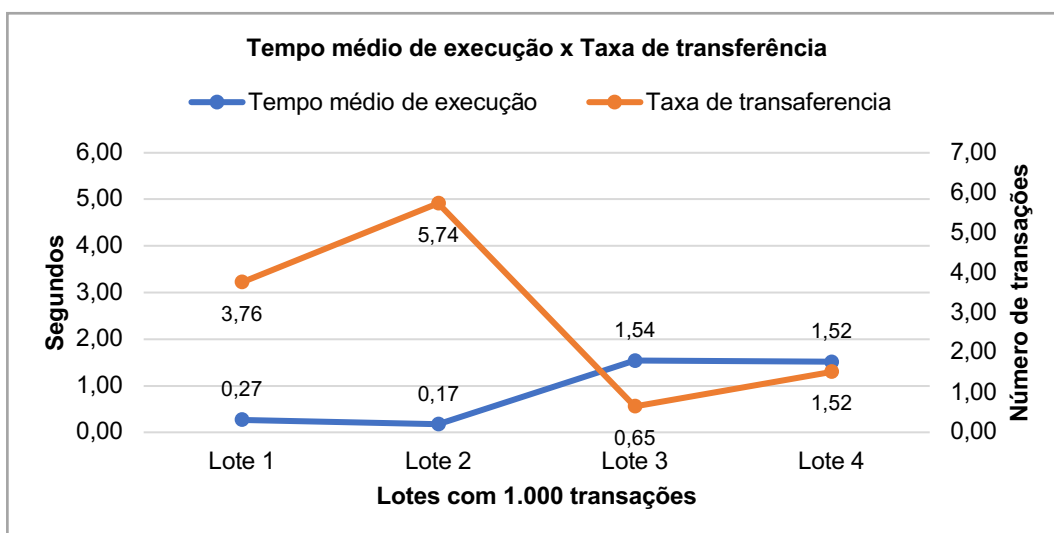
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 9 – Tempo total de execução x Latência média por mil transações



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 10 – Tempo médio de execução x Taxa de transferência por mil transações



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 6.4 Limitações

Durante o período de avaliação do modelo foi identificada algumas limitações relacionadas a infraestrutura. A Amazon disponibiliza uma instância EC2 do tipo *t2.micro* com uma CPU e 1GB de memória. Após a instalação dos softwares necessário, a inicialização da rede Blockchain Ethereum levou aproximadamente uma hora para a mineração do primeiro bloco, e 20 minutos para a implantação do contrato inteligente. Os testes realizados no envio de uma transação ao Blockchain retornaram uma mensagem de erro informando que a transação não foi coletada dentro de 750

segundos. Este problema foi solucionado alterando a infraestrutura para uma instância do tipo *t2.medium*.

Outro problema identificado foi com as cargas acima de 1.000 transações, durante os testes de execução destas cargas a conexão por HTTP foi fechada e o envio das cargas abortado. Este problema foi solucionado substituindo a conexão HTTP por WebSocket. Porém a API Web3.js da versão 1.0.0.beta.36 não estabeleceu uma conexão com o Blockchain. Desta forma, a API Web3.js foi substituída pela versão 1.0.0.beta.34. Os testes foram novamente executados e problema com cargas acima de 1.000 ocorreu novamente. A solução para este problema foi adicionar um intervalo de 5 segundo para cada envio de 5 transações.

## 6.5 Discussão

A plataforma de Blockchain Ethereum foi capaz de suportar um conjunto de até 1.000 transações enviadas uma após a outra, sem apresentar instabilidade de comunicação com a rede Blockchain. Porém, para suportar um conjunto acima de 1.000 transações foi necessário adicionar um intervalo de tempo no envio das transações. Desta forma, os resultados obtidos com as cargas de trabalho até 1.000 transações sem o intervalo, demonstraram um melhor desempenho geral comparada com as cargas maiores, de 5.000 e 10.000 transações que possuem o intervalo. A avaliação com os lotes de 1.000 transações com e sem o intervalo de tempo no envio das transações, também demonstraram uma diferença significativa no desempenho geral.

Os Gráficos 6 e 7 demonstraram que o intervalo entre as transações influenciou nas medidas de tempo total de execução e tempo médio de execução dos lotes de 1.000 transações. Esta mesma diferença de tempo também foi apresentada nos Gráficos 1 e 2 para as cargas de 5.000 e 10.000 transações. Os Gráficos 4 e 9 apresentaram uma comparação entre o tempo total de execução e latência média dos conjuntos de cargas de trabalho avaliadas. Estes gráficos demonstraram que o Ethereum apresentou uma elevada latência nas cargas de trabalho a partir de 1.000 transações. Assim como, uma significativa diferença no tempo total de execução e latência média para as cargas executadas com um intervalo de tempo entre as transações.

O trabalho de Pongnumkul, Siripanpornchana e Thajchayapong (2017) apresentou uma análise da plataforma de Blockchain Ethereum com um número variável de transações. A análise foi realizada em uma instância da Amazon do tipo *c4.2xlarge*, com 8 CPUs e 15GB de memória, usando um contrato inteligência para transferir valores entre contas, com uma média de dez execuções independentes. A carga de trabalho com 10.000 transações, também apresentou uma latência média (484,78 segundos) elevada mesmo sendo executada em uma configuração de hardware superior. Porém, para a carga de trabalho de 1.000 transações a latência média (25,95 segundos) foi inferior a todas as latências médias obtidas nesta avaliação.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este artigo apresentou uma análise de desempenho da plataforma Blockchain Ethereum aplicada a transferência de registros de saúde. Visando proporcionar um modelo de ambiente de execução para coleta de dados de desempenho.

Os resultados obtidos com implementação deste modelo demonstram que o Ethereum possui um nível de desempenho melhor com as cargas de trabalho até 1.000 transações enviadas ao Blockchain sem um intervalo de tempo entre as transações. Não havendo uma diferença de tempo significativa entre a latência média e o tempo total de execução das cargas. Porém, como cargas acima de 1.000 transações não foram possíveis de serem executadas sem um intervalo de tempo entre o envio das transações. O Ethereum demonstrou um tempo total de execução significativamente maior com as cargas de 5.000 e 10.000 transações. Apresentando também essa diferença de tempo nos testes com cargas de 1.000 transações, com e sem o intervalo de tempo entre as transações. Além disso, a taxa de transferência também demonstrou uma queda em relação a tempo médio de execução com as cargas maiores. Sendo também refletida nos testes com os lotes de 1.000 transações com o intervalo de tempo entre as transações.

A contribuição científica deste trabalho é apresentar uma proposta viável para um modelo de avaliação de desempenho do Blockchain, aplicado na transferência de registros de saúde. De forma que os resultados obtidos possam contribuir com os demais trabalhos relacionados ao desempenho de plataformas de Blockchain e a sua aplicação na saúde.

O Blockchain Ethereum se demonstrou estável no processamento de diferentes cargas de trabalho. Apresentando problemas de instabilidade na comunicação ao enviar cargas de trabalho maiores, os quais foram resolvidos adicionando intervalo de tempo de 5 segundo a cada 5 transações. Como trabalhos futuros, é possível realizar um comparativo de desempenho entre plataformas Blockchain, incluindo outras além do Ethereum, e também entre diferentes protocolos de consenso. Outra possibilidade seria realizar o mesmo procedimento deste trabalho, porém com uma rede maior de nós, verificando o efeito do tamanho da rede nos resultados apresentados.

## REFERÊNCIAS

- ARAUJO, T. V.; PIRES, S. R.; BANDIERA-PAIVA, P.. Adoção de padrões para Registro Eletrônico em Saúde no Brasil. **RECIIS** - Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação em Saúde, Rio de Janeiro, v. 8, n. 4, p. 554-566, 2014.
- AZARIA, A. et al. MedRec: Using Blockchain for Medical Data Access and Permission Management. In: 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON OPEN AND BIG DATA (OBD), 2., 2016, Vienna. **Anais...** Vienna: 2016. p. 25-30.
- BANET, J. **IPFS - Content Addressed, Versioned, P2P File System (DRAFT 3)**. Disponível em: <<https://github.com/ipfs/ipfs/blob/master/papers/ipfs-cap2pfs/ipfs-p2p-file-system.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2018.
- BASHIR, I.. **Mastering Blockchain**. Birmingham: Packt Publishing, 2017. Livro eletrônico.
- BELLAZZI, R.. Big data and biomedical informatics: a challenging opportunity. **Yearbook of Medical Informatics**, v. 9, n. 1, p. 8-13, 2014.
- BHARTIYA, S.; MEHROTRA, D.; GIRDHAR, A.. Issues in Achieving Complete Interoperability while Sharing Electronic Health Records. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION SECURITY & PRIVACY (ICISP2015), 1., 2015, Nagpur. **Anais...** Procedia Computer Science, v. 78, 2016. p. 192-198.
- BOURGEOIS, F. C.; NIGRIN D. J.; HARPER M. B.. Preserving Patient Privacy and Confidentiality in the Era of Personal Health Records. **Pediatrics Perspective**, v. 135, n. 5, p. e1125-e1127, 2015.
- BRASIL, Ministério da Saúde. **Portaria no 2.073, de 31 de agosto de 2011**. Regulamenta o uso de padrões de interoperabilidade e informação em saúde para sistemas de informação em saúde no âmbito do Sistema Único de Saúde, nos níveis Municipal, Distrital, Estadual e Federal, e para os sistemas privados e do setor de saúde suplementar. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2073\\_31\\_08\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2073_31_08_2011.html)>. Acesso em: 25 mai. 2018.

CUNNINGHAM J.; AINSWORTH, J.. Enabling Patient Control of Personal Electronic Health Records Through Distributed Ledger Technology. In: GUNDLAPALLI, A. V.; JAULENT, M. C.; ZHAO, D.. **MEDINFO 2017: Precision Healthcare through Informatics**. v. 245. Amsterdam: IOS Press, 2017. p. 45-48.

DENCKER, A. F. M.; DA VIÁ, S. C.. **Pesquisa empírica em ciências humanas (com ênfase em comunicação)**. São Paulo: Futura, 2001.

DIGITAL IMAGING AND COMMUNICATIONS IN MEDICINE (DICOM). **DICOM**, 1993. Disponível em: <<https://www.dicomstandard.org/>>. Acessado em: 20 mai. 2018.

DINH, T. T. A. et al.. BLOCKBENCH: A Framework for Analyzing Private Blockchains. In: SIGMOD'17 PROCEEDINGS OF THE 2017 ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT OF DATA, 17., 2017, Chicago. **Anais...** New York: ACM, 2017. p. 1085-1100.

DINH, T. T. A. et al.. **Untangling Blockchain: A Data Processing View of Blockchain Systems**. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, v. 30, n. 7, p. 1366-1385, 2017.

DYE, C. et al.. Data sharing in public health emergencies: a call to researchers. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 3, n.3, p. 158, 2016.

ETHEREUM FOUNDATION. **Ethereum**, 2013. Disponível em: <<https://www.ethereum.org/>>. Acessado em: 20 jun. 2018.

GORP, P. V; COMUZZI, M.. Lifelong Personal Health Data and Application Software via Virtual Machines in the Cloud. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, v. 18, n. 1, p. 36-45, 2014.

HEALTH LEVEL SEVEN INTERNATIONAL (HL7). **HL7**, 1987. Disponível em: <<http://www.hl7.org/>>. Acessado em: 21 jun. 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 13606-1: health informatics - electronic health record communication - Part 1: Reference model**, 2008. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:13606:-1:ed-1:v1:en>>. Acessado em: 15 mai. 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO/TR TR14639-2: health informatics - capacity-based eHealth architecture roadmap - Part 2: Architectural components and maturity model**, 2014. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:14639:-2:ed-1:v1:en>>. Acessado em: 15 mai. 2018.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A.. **Fundamentos de metodologia científica**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2005.mai

MANDL, K.D.; SZOLOVITS P.; KOHANE I.S.. Public standards and patients' control: how to keep electronic medical records accessible but private. **British Medical Journal**, v. 322, n. 7281, p. 283–287, 2015.

MURDOCH; T., DETSKY; A.. The inevitable application of big data to health care. **Journal JAMA**, v. 309, n. 13, p. 1351–1352, 2013.

NAKAMOTO, S.. **Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System**, 2008. Disponível em: <<https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>>. Acessado em: 15 mar. 2018.

OPENEHR FOUNDATION. **openEHR** - An Open Domain-Driven Platform for Developing Flexible e-Health Systems, University College London, Reino Unido, [2018?]. Disponível em: <<http://www.openehr.org/>>. Acessado em: 20 mai. 2018.

PATIL; H. K., SESHADRI; R.. Big data security and privacy issues in healthcare. IEEE international congress on big data. In: IEEE INTERNATIONAL CONGRESS ON BIG DATA, 2014, Anchorage. **Anais...** Anchorage: 2014. p. 762–765.

PIGGOTT, J. et al. **Personal Health Records: Solving Barriers to Enhance Adoption**. 2015.

PONGNUMKUL, S.; SIRIPANPORNCHANA, C.; THAJCHAYAPONG S.. Performance Analysis of Private Blockchain Platforms in Varying Workloads. In: 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER COMMUNICATION AND NETWORKS (ICCCN), 26., 2017, Vancouver. **Anais...** Vancouver: 2017.

PROTOCOL LABS. **IPFS**, 2014. Disponível em: <<https://ipfs.io/>>. Acessado em: 21 jun. 2018.

RICHARDSON, R. J.. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

ROEHRS, A.; DA COSTA, C. A.; RIGHI, R. R. OmniPHR: A distributed architecture model to integrate personal health records. **Journal of Biomedical Informatics**, v. 71, p. 70-81, 2017.

ROEHRS, A.; DA COSTA, C. A.; RIGHI, R. R.; DE OLIVEIRA, K. S. F.. Personal Health Records: A Systematic Literature Review. **Journal of Medical Internet Research**, v. 19, p. e13-21, 2017.

SWAN, M. **Blockchain - Blueprint for a New Economy**. Sebastopol: O'Reilly Media, 2015. Livro eletrônico.

THE OFFICE OF THE NATIONAL COORDINATOR FOR HEALTH INFORMATION TECHNOLOGY (ONC). **Report on health information blocking**, Department of Health and Human Services, 2015, Washington, DC. Disponível em: <[https://www.healthit.gov/sites/default/files/reports/info\\_blocking\\_040915.pdf](https://www.healthit.gov/sites/default/files/reports/info_blocking_040915.pdf)>. Acesso em: 25 mai. 2018.

THE OFFICE OF THE NATIONAL COORDINATOR FOR HEALTH INFORMATION TECHNOLOGY (ONC). **ONC**. Department of Health and Human Services (HHS), [2018?]. Disponível em: <<https://www.healthit.gov/>>. Acessado em: 04 jun. 2018.

WEBER, I. et al. On Availability for Blockchain-Based Systems. In: IEEE 36TH SYMPOSIUM ON RELIABLE DISTRIBUTED SYSTEMS (SRDS), 36., 2017, Hong Kong. **Anais...** Sydney: University of New South Wales, 2017. p. 64-73.



## APÊNDICE A – REGISTROS ELETRÔNICOS DE SAÚDE

Este apêndice apresenta uma complementação sobre os conceitos descritos na subseção de Registros Eletrônicos de Saúde. Inicia por descrever alguns padrões utilizados nos registros eletrônicos de saúde, destacando os benefícios e desafios em ter uma visão integrada do histórico de saúde.

De acordo com a ISO/TR14639 existem três modelos padronizados para o armazenamento eletrônico dos registros de saúde dos pacientes. (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2014). O EMR (*Electronic Medical Record*) é a representação eletrônica do registro médico de um indivíduo em um consultório médico ou clínica, geralmente sob o domínio interno do prestador de serviço de saúde. O EHR (*Electronic Health Record*) é o registro eletrônico longitudinal de saúde de um indivíduo, a estrutura é composta de vários grupos de dados como datas de vacinação, alergias, sinais vitais, consultas médicas, resultados de exames laboratoriais, imagens médicas e diagnósticos. Estes grupos de dados provêm de vários EMRs pertencentes ao indivíduo. Para garantir a continuidade do atendimento ao paciente, o EHR permite que outros prestadores de serviço de saúde tenham acesso autorizado aos dados de saúde do paciente. O PHR (*Personal Health Record*) é a representação de informações relacionadas ou relevantes de saúde do indivíduo (ROEHRS; DA COSTA; RIGHI; DE OLIVEIRA, 2017). Inclui informações relacionadas ao bem-estar e desenvolvimento, podendo ser autônomas ou integrar informações de saúde de várias fontes, das quais os indivíduos gerenciam e controlam o conteúdo do PHR, além de conceder permissões de acesso e compartilhamento com terceiros.

No Brasil, um RES (Registro Eletrônico em Saúde) define-se, como um conjunto de informações de saúde e assistência de um paciente durante toda a sua vida. (ARAUJO; PIRES; BANDIERA-PAIVA, 2014). Os quais possuem aplicações na assistência, pesquisa e educação em saúde. Estes englobam informações referente ao paciente, como procedimentos, consultas, administração de medicamentos, resultados de exames e informações demográficas. (ARAUJO; PIRES; BANDIERA-PAIVA, 2014, p.556 apud COHEN et al., 2003). O RES utiliza padrões abertos para os dados de saúde, definidos pelo Ministério da Saúde através da portaria no 2.073, de 31 de agosto de 2011. Possui como padrões o modelo de referência openEHR para a definição do RES; o padrão HL7 (*High Level 7*), para estabelecer a interoperabilidade entre sistemas visando a integração dos resultados e integração de

exames; o padrão DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) para a representação da informação relativa a exames de imagem; entre outros padrões apresentados pela portaria.

A proposta do modelo openEHR (OPENEHR FOUNDATION) é uma modelagem de fonte única em vários níveis dentro de uma arquitetura de software orientada a serviços. Os componentes e sistemas em conformidade com o modelo são abertos em termos de dados, modelos e APIs (*Application Programming Interface*). Sua especificação de arquétipos é um padrão ISO 13606-2, o que permite que soluções *back-end* e *front-end* possam interagir através de modelos de informação padronizados, modelos de conteúdo, terminologias e interfaces de serviços. (OPENEHR FOUNDATION). O padrão HL7 é um protocolo de intercâmbio de dados eletrônicos em ambientes da área da saúde, integrando informações de natureza clínica e administrativa. (HEALTH LEVEL SEVEN INTERNATIONAL, 1987). O DICOM é um padrão para a comunicação de informações de imagens médicas reconhecido pelo ISO 12052. O padrão tem o objetivo de facilitar a comunicação e o gerenciamento de imagens médicas e dados relacionados, entre os equipamentos de imagens médicas e os sistemas relacionados com o gerenciamento dessas informações. (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2017).

Assim, um EHR contém o histórico de saúde de um paciente, o compartilhamento e uso seguro de informações eletrônicas de saúde permitem a contribuição para a implementação de sistemas e processos que possam medir e melhorar a qualidade e eficiência dos cuidados de saúde em geral. (ONC, 2015). No entanto, existem diversos desafios que limitam o compartilhamento efetivo desses dados. Geralmente, os sistemas de saúde que gerenciam o EHR do paciente usam banco de dados em formatos proprietários, com acesso exclusivo para estes sistemas, com pouca ou nenhuma interoperabilidade. (PIGGOTT et al., 2015). O que dificulta o acesso atualizado a dados dos pacientes quando estes são assistidos por outros profissionais de saúde. (DYE et al., 2016). Além disso, existem diversos padrões, público e proprietários, de armazenamento de dados de saúde para diferentes finalidades. Aumentando a dificuldade de compartilhamento de registros de saúde entre as organizações. (ROEHRS; DA COSTA; RIGHI; DE OLIVEIRA, 2017; BHARTIYA; MEHROTRA; GIRDHAR; 2016). Segundo Mandl, Szolovits e Kohane (2015), para que diferentes sistemas compartilhem dados de forma eficaz, todos eles devem usar um conjunto comum de protocolos de comunicação e formatos de

mensagem e, permitir a importação e exportação de todos os seus dados. Desta forma, estruturas de dados comuns que utilizam padrões abertos podem promover a possibilidade de troca efetiva de dados entre os sistemas. O que estimula a adoção de interoperabilidade entre sistemas e a demanda por produtos, serviços e recursos que promovam o intercâmbio de informações em saúde.

## APÊNDICE B – TRABALHOS RELACIONADOS

Tabela 1 - Lista de trabalhos selecionados

Sigla	Referência	Ano
Desempenho das plataformas Blockchain		
T1	PONGNUMKUL; SIRIPANPORNCHANA; THAJCHAYAPONG	2017
T2	DINH; et al	2017
T3	WEBER; et al	2017
Registros eletrônicos de saúde		
T4	AZARIA; et al, 2016	2016
T5	ROEHRS; DA COSTA; RIGHI	2017
T6	CUNNINGHAM; AINSWORTH	2017

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 2 - Problemas e benefícios identificados nos registros de saúde

Sigla	Descrição
Problemas	
P1	Dados fragmentados por diversos provedores de saúde
P2	Pacientes não são incentivados a gerenciar seu histórico de saúde
P3	Falta de segurança física e ética dos dados
P4	Diferentes padrões de dados para diferentes finalidades
Benefícios	
B1	Visão unificada do histórico de saúde
B2	Interoperabilidade entre os diferentes provedores de saúde
B3	Estabelecer uma relação de confiança entre pacientes e profissionais de saúde
B4	Compartilhamento dos dados de saúde de forma segura

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3 - Relação entre problemas e benefícios nos registros de saúde

Abordagem	AZARIA; et al, 2016	ROEHRS; DA COSTA; RIGHI, 2017	CUNNINGHAM; AINSWORTH; 2017
Problemas enfrentados pelos registros de saúde	P1, P2, P3	P1, P2, P3, P4	P3, P4
Benefícios com o uso da tecnologia Blockchain	B1, B2, B3, B4	B1, B2, B3, B4	B3, B4

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4 - Problemas e benefícios identificados no Blockchain

Sigla	Descrição
Problemas	
P5	Limitações relacionadas a escalabilidade, desempenho e rendimento
P6	Falta de testes da aplicação do Blockchain em diversos cenários
P7	Transação com um número elevado de usuários
Benefícios	
B5	Blockchains privados, somente usuários autorizados participam da rede
B6	Não há necessidade de um intermediário para validação das transações
B7	Segurança, no compartilhamento e distribuição de informações com a utilização de criptografia
B8	Imutabilidade e transparência ajudam a reduzir erros humanos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5 - Relação entre problemas e benefícios no desempenho das plataformas Blockchain

Abordagem	PONGNUMKUL; SIRIPANPORNCHANA; THAJCHAYAPONG, 2017	DINH; et al, 2017	WEBER; et al, 2017
Problemas	P5, P6, P7	P5, P6	P5
Benefícios	B5, B6, B7, B8	B5, B6, B7, B8	B6, B7, B8

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6 - Características dos trabalhos relacionados.

Características	Registros de Saúde	Limitações da tecnologia	Benefícios na utilização
Desempenho das plataformas Blockchain			
T1	-	P5, P6, P7	B5, B6, B7, B8
T2	-	P5, P6	B5, B6, B7, B8
T3	-	P5	B6, B7, B8
Registros eletrônicos de saúde			
T4	P1, P2, P3	-	B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8
T5	P1, P2, P3, P4	-	B1, B2, B3, B4, B7
T6	P3, P4	-	B3, B4, B5, B6, B7, B8
Lacunas	P1, P2, P3, P4	P5, P6, P7	B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8

Fonte: Elaborado pelo autor.

## APÊNDICE C – MODELO PEM4BLOCKEHR

Este apêndice apresenta uma complementação do modelo *pem4BlockEHR*. O *pem4BlockEHR* consiste em apresentar um ambiente de execução o mais próximo possível de um ambiente real, para que dados relacionados ao desempenho do

ambiente possam ser coletados e quantificados para análise. Através de cargas de trabalho, como proposto pelo BlockBench (DIEHL et al, 2017), ocorrerá a simulação de transferência de registros de saúde entre paciente e profissional. Como os registros de saúde estão distribuídos entre vários profissionais e organizações de saúde, o Blockchain irá transacionar um *hash* do registro para que este possa ser acessado externamente através de uma API quando solicitada a sua visualização.

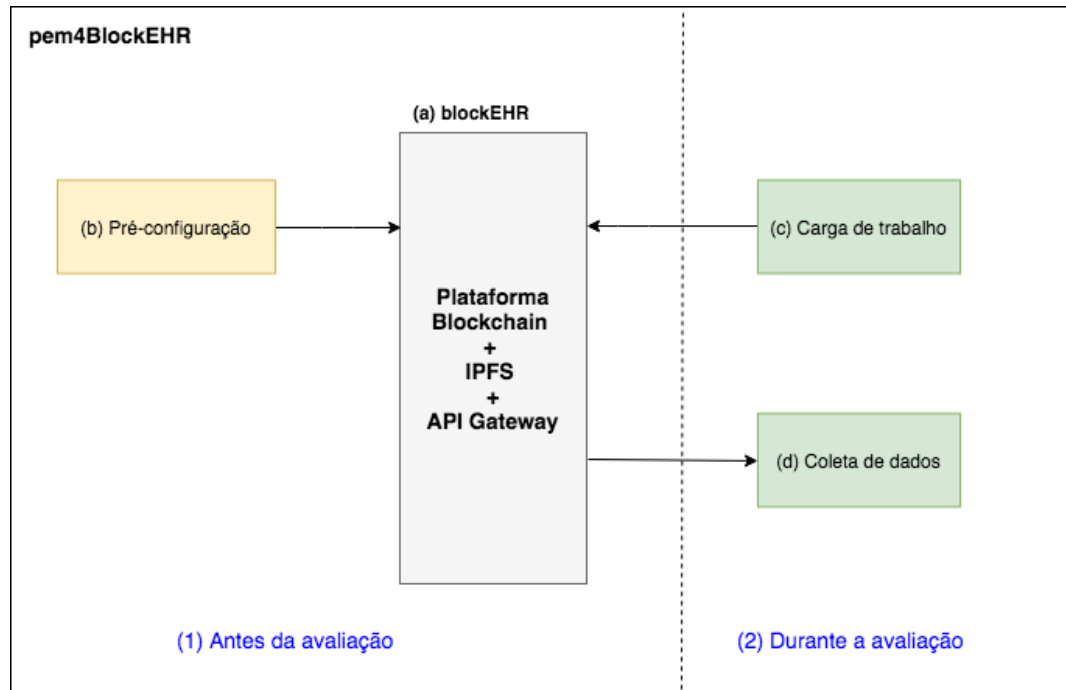
A escolha da plataforma Blockchain deve ter como premissas: possuir uma implementação privada, ou seja, estar aberto apenas a um grupo de pessoas ou organizações que decidem compartilhar o livro de registros (*ledger*) entre si; permitir a implementação e implantação de contratos inteligentes com linguagens completas de *Turing*, que possibilitam a programação de ações que serão executadas de acordo com os requisitos especificados no contrato; além disso, a plataforma Blockchain deve permitir um meio de comunicação para a coleta de dados para a análise de desempenho. No contexto do presente trabalho, o grupo corresponde a todos os pacientes, profissionais, pesquisadores e organizações de saúde que desejam contribuir com a rede. Já os contratos inteligentes permitem incluir funcionalidades a rede como a chave de acesso a um registro de saúde do paciente.

O objetivo da plataforma Blockchain é proporcionar um ambiente distribuído em uma rede P2P, responsável por validar e integrar as transações executadas pelos usuários. A Figura 3, mostra os usuários paciente e profissional de saúde interagindo com o Blockchain e com o IPFS por meio de uma API Gateway. O Blockchain, através dos contratos inteligentes implantados na plataforma espera receber solicitações para incluir uma conta de usuário, vincular um registro de saúde a uma conta de usuário e transferir um registro de saúde. O IPFS espera receber solicitações para armazenar um registro de saúde e vincular este registro á conta do paciente, localizar e visualizar um registro de saúde através de um endereçamento. Caso a solicitação esteja de acordo com as regras implementadas no contrato, a transação é confirmada e gravada no Blockchain. Ou seja, os dados da transação estão contidos em blocos que são encadeados para criar o livro de registros do Blockchain e compartilhados entre todos os nós que fazem parte da rede. Todos os dados do livro de registros são protegidos por *hash* criptográfico e validados por um algoritmo de consenso. A Figura 4 apresenta uma visão do fluxo de comunicação entre paciente e profissional de saúde. No fluxo de transferência, o paciente transfere seu registro de saúde ao profissional de saúde, utilizando a rede Blockchain Ethereum para garantir essa transferência. Ao iniciar a

transação no Blockchain, o contrato inteligente de transferência é acionado e as regras são executadas, no contrato está armazenado o *hash* de endereçamento do registro de saúde do paciente. O profissional de saúde ao receber a transferência do registro, utiliza o *hash* de endereçamento para solicitar e visualizar por meio da API Gateway, que irá se comunicar com a rede IPFS para localizar e obter o registro de saúde. O paciente também pode solicitar a visualizar de seu registro de saúde por meio da API Gateway, que utilizará o *hash* de endereçamento para localizar e obter o registro armazenado na rede IPFS.

A seguir são listadas as figuras de representação dos fluxos previstos na API Gateway. A Figura 5 apresenta o fluxo de criar uma conta executado pelo paciente ou profissional de saúde. A Figura 6 apresenta o fluxo de transferência de registro de saúde executado pelo paciente. A Figura 7 apresenta o fluxo para localizar um registro de saúde executado pelo paciente ou profissional de saúde. Por fim, a Figura 8 apresenta o fluxo de vincular um registro de saúde ao paciente, executado pelo profissional de saúde. Estes fluxos são executados a partir dos contratos inteligentes carregados na plataforma Blockchain e a implementação da API de comunicação com a rede IPFS. A implementação e carregamento dos contratos inteligentes e a construção da API estão previstos para serem executados no módulo (b) Pré-configuração representado pela figura a Figura 2.

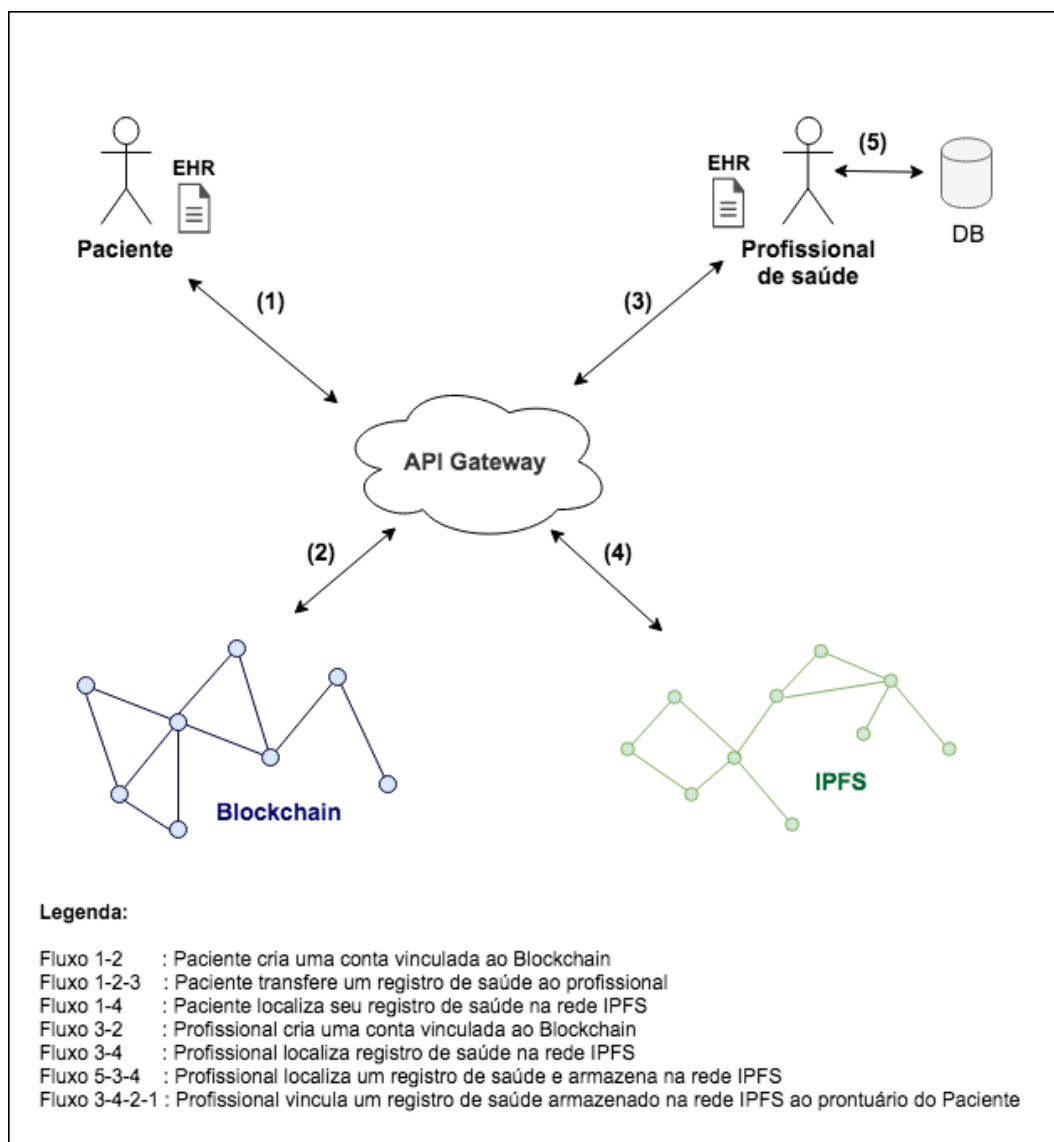
Figura 2 - Visão geral do modelo pem4BlockEHR



Fonte: Elaborado pelo autor.

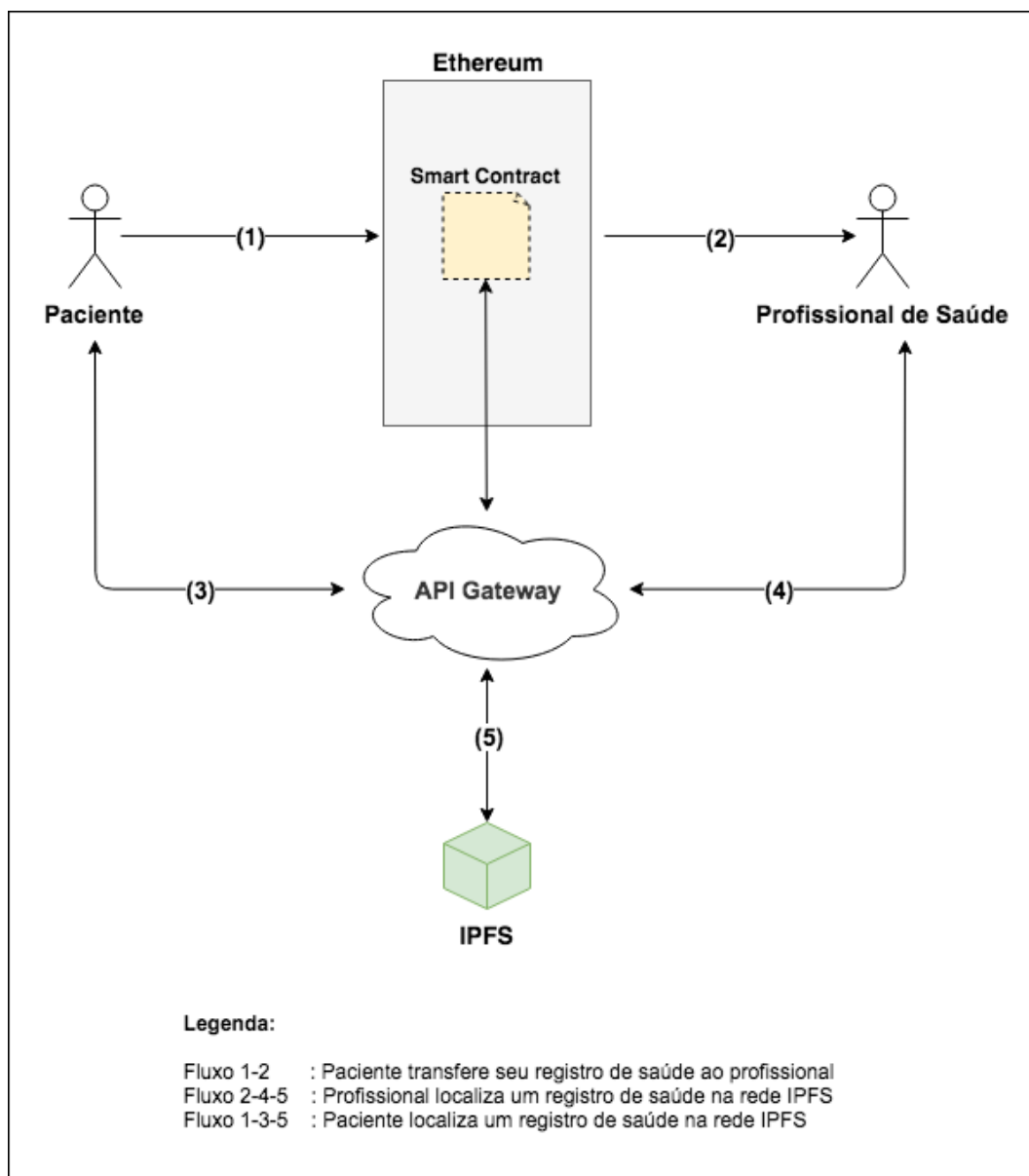


Figura 3 - Visão geral do ambiente de execução



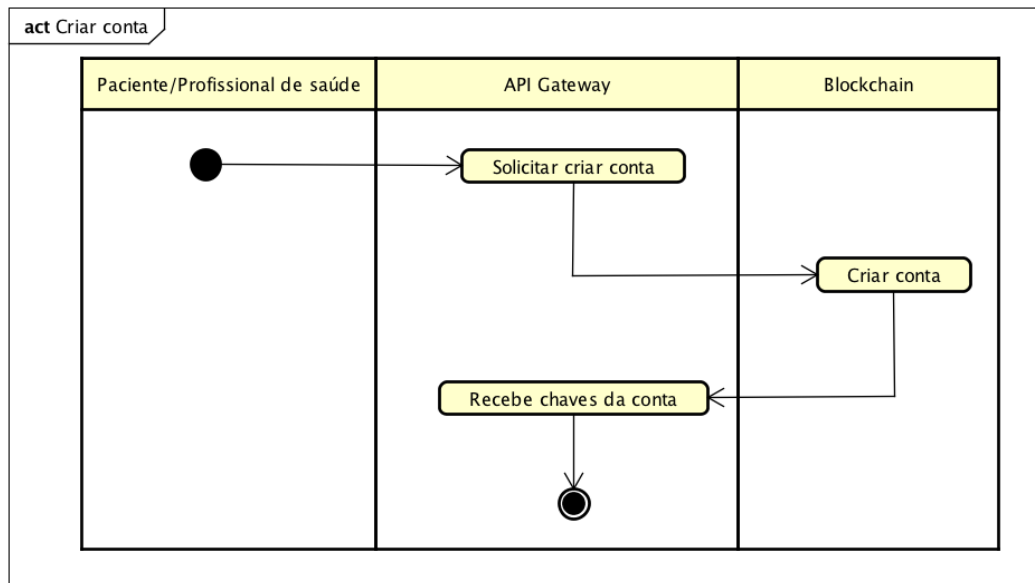
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4 - Visão do fluxo de comunicação



Fonte: Elaborado pelo autor.

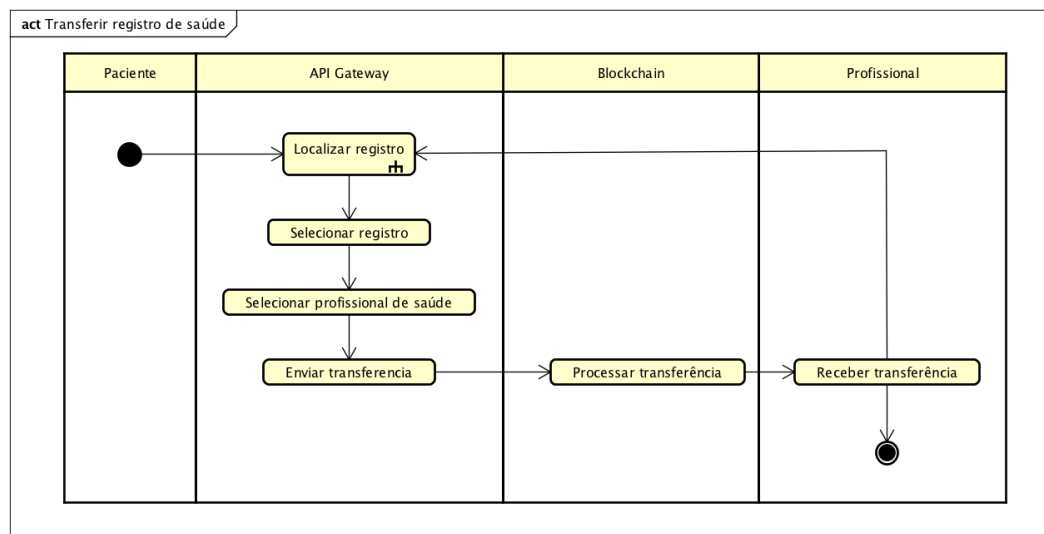
Figura 5 – Fluxo criar uma conta



powered by Astah

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6 – Fluxo transferência de registro de saúde

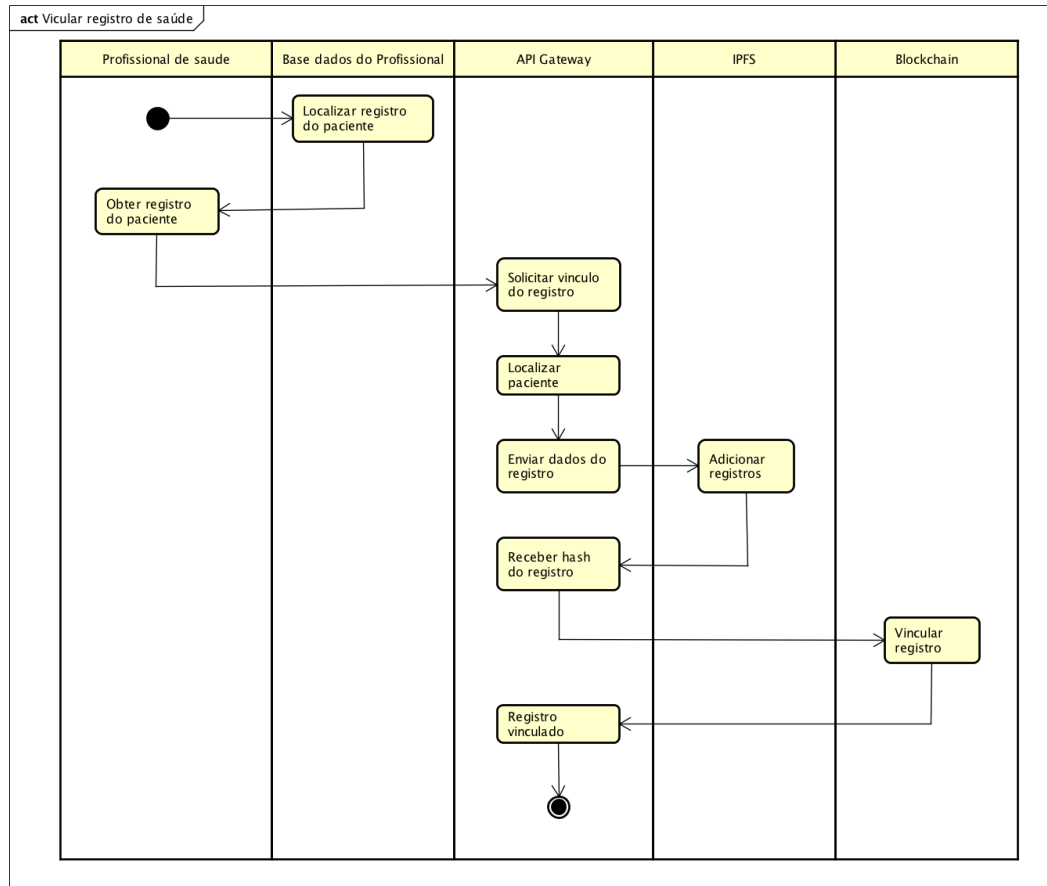


powered by Astah

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 8 – Fluxo vincular um registro de saúde



powered by Astah

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9 - Contrato do Paciente

```

1 pragma solidity 0.4.24;
2
3 contract Ehr {
4     string ipfsHash;
5
6     constructor(string _ipfsHash) public {
7         ipfsHash = _ipfsHash;
8     }
9 }
10
11 contract Patient {
12     address owner;
13     string name;
14     string heathNumber;
15     Ehr[] ehres;
16
17     constructor(string _name, string _heathNumber) public {
18         name = _name;
19         heathNumber = _heathNumber;
20     }
21
22     function addEhr (string _ipfsHash) public {
23         ehres.push(Ehr(_ipfsHash));
24     }
25
26     function transferEhr(address professionalAddress, string _ipfsHash) public {
27         Professional professional = Professional(_professionalAddress);
28         professional.addEhrToPatient(_ipfsHash);
29     }
30 }
31
32 contract Professional {
33     address owner;
34     string name;
35     string registerNumber;
36
37     constructor(string _name, string _registerNumber) public {
38         name = _name;
39         registerNumber = _registerNumber;
40     }
41
42     function addEhrToPatient (address patientAddress, string _ipfsHash) public {
43         Patient patient = Patient(_patientAddress);
44         patient.addEhr(_ipfsHash);
45     }
46
47 }
48

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

## APÊNDICE D – METODOLOGIA E IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

Quadro 1- Métricas de avaliação

Métrica	Como se calcula
Tempo de implantação (Ti)	É a informação de <i>timestamp</i> armazenada no primeiro bloco de coleta da transação.
Tempo de confirmação (Tc)	É a informação de tempo obtida após 24 blocos confirmarem uma determinada transação.
Tempo de execução (Te)	É o tempo total em segundos que a plataforma Blockchain levou para executar e confirmar todas as transações no conjunto de experimentos. (PONGNUMKUL; SIRIPANPORNCHANA; THAJCHAYAPONG, 2017).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 1- Métricas de avaliação (*continuação*)

Métrica	Como se calcula
Tempo de execução (Te)	<p><u>Formula:</u></p> <p><math>Te = \text{Max}(Tc) - \text{Min}(Ti)</math>, onde:</p> <p>Max(Tc) = Maior tempo de conclusão da transação;</p> <p>Min(Ti) = Menor tempo de implantação da transação.</p>
Latência (Lt)	<p>É a diferença entre o tempo de conclusão e o tempo de implantação em segundo. (PONGNUMKUL; SIRIPANPORNCHANA; THAJCHAYAPONG, 2017).</p> <p><u>Formula:</u></p> <p><math>Lt = Tc - Ti</math>, onde:</p> <p>Tc = tempo de conclusão da transação;</p> <p>Ti = Tempo de implantação da transação.</p>
Taxa de transferência (Tf)	<p>É o número de transações bem-sucedidas por segundo. (PONGNUMKUL; SIRIPANPORNCHANA; THAJCHAYAPONG, 2017).</p> <p><u>Formula:</u></p> <p><math>Tf = Tb / Te</math>, onde:</p> <p>Tb = Número de transações bem-sucedidas;</p> <p>Te = Tempo de execução.</p>
Latência média (Ltm)	<p>É a média da latência de todas as transações do conjunto de dados. (PONGNUMKUL; SIRIPANPORNCHANA; THAJCHAYAPONG, 2017).</p> <p><u>Formula:</u></p> <p><math>Ltm = \text{Soma}(Lt) / N</math>, onde:</p> <p>Soma(Lt) = soma de todas as latências;</p> <p>N = número de solicitações do experimento.</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.