

Facilitando o Desenvolvimento de Aplicações de Internet das Coisas: Um Estudo Experimental

Lucas Cristiano Dantas, Everton Cavalcante, Thais Batista

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Natal-RN, Brasil

{lucas cristiano27, thaisbatista}@gmail.com, everton.cavalcante@ufrn.br

Resumo. *Plataformas para Internet das Coisas (IoT) tem como um dos principais objetivos facilitar o desenvolvimento de aplicações. No entanto, a implantação e configuração dos componentes e serviços providos por tais plataformas para serem utilizados no desenvolvimento de uma determinada aplicação de IoT é, em geral, um processo laborioso. O FIWARE-Lab@RNP é um laboratório virtual Web desenvolvido com o propósito de possibilitar a utilização de recursos da plataforma FIWARE de forma transparente. Utilizando o FIWARE-Lab@RNP, os usuários podem facilmente criar, configurar e gerenciar componentes e serviços da FIWARE, minimizando assim a curva de aprendizado referente a essas tarefas. Este artigo apresenta os resultados de um experimento controlado realizado com usuários com o objetivo de avaliar o potencial do FIWARE-Lab@RNP para reduzir o esforço de desenvolvimento de aplicações e contribuir com uma melhor experiência no uso de plataformas de IoT.*

Abstract. *One of the main goals of Internet of Things (IoT) platforms is to facilitate application development. However, the deployment and configuration of components and services provided by these platforms to be used in the development of a given IoT application might be a laborious process. FIWARE-Lab@RNP is a Web-based virtual laboratory developed aiming at enabling the use of resources from the FIWARE platform in a transparent way. By using FIWARE-Lab@RNP, users can easily create, configure, and manage FIWARE components and services, thus minimizing the learning curve regarding these tasks. This paper presents the results of a controlled experiment with users aimed to evaluate the potential of FIWARE-Lab@RNP to reduce application development effort and improve user experience on IoT platforms.*

1. Introdução

Uma das principais características do paradigma de Internet das Coisas (IoT, do Inglês *Internet of Things*) é a alta heterogeneidade decorrente da inerente diversidade de tecnologias de *hardware* e *software* nesse contexto [Atzori et al. 2010]. A fim de endereçar esse desafio, plataformas de IoT têm emergido como soluções promissoras para (i) abstrair as especificações de dispositivos físicos dos usuários e/ou aplicações, (ii) promover interoperabilidade entre eles, (iii) gerenciar a variedade crescente de dispositivos associados a aplicações e (iv) contribuir para facilitar o desenvolvimento de aplicações de IoT e o consumo de dados por usuários finais [Razzaque et al. 2015, Mineraud et al. 2016, Ngu et al. 2016]. Tais plataformas situam-se entre aplicações e a infraestrutura subjacente de comunicação, processamento e sensoriamento, provendo assim meios padronizados

para acessar dados e serviços providos por dispositivos físicos através de uma interface de alto nível [Delicato et al. 2013].

Assim como ocorre em muitas aplicações distribuídas, o processo de implantação e configuração de serviços para aplicações de IoT também é complexo. Uma típica aplicação de IoT pode depender de um conjunto diverso de serviços, por exemplo, bancos de dados, gerenciamento de contexto, comunicação, gerenciamento de dispositivos e configuração e distribuição de dispositivos físicos. Apesar de plataformas de IoT serem úteis para abstrair alguns detalhes relativos à configuração e uso de uma aplicação, a implantação dessas plataformas e seus serviços pode ser uma tarefa complexa e propensa a erros. Isso se deve à necessidade de se entender as configurações e parâmetros internos esperados por cada serviço provido, que podem variar muito de uma plataforma para outra. Outra implicação é a necessidade ter um maior conhecimento acerca de uma determinada plataforma antes de se iniciar o desenvolvimento da aplicação a ser construída sobre ela.

Abordagens para facilitar o processo de configuração de aplicações distribuídas também podem ser usadas para aplicações de IoT. A criação de serviços que agrupam e abstraem a implantação, configuração e uso desses serviços de plataformas de IoT e das aplicações construídas sobre eles pode tornar esse processo mais fácil por meio da criação de uma camada de alto nível para usuários que precisem consumir os serviços da plataforma. Além disso, o uso de *dashboards* para o consumo desses serviços pode tornar o processo ainda mais rápido e fácil para usuários técnicos e não-técnicos. Entretanto, as ferramentas existentes para plataformas de IoT não apresentam extensibilidade, flexibilidade e facilidade para uma criação rápida de instâncias de serviços. Além disso, elas geralmente não proveem meios de facilitar o processo que envolve desde implantação do ambiente subjacente à configuração da aplicação de IoT em si.

Dentre as muitas plataformas de IoT propostas nos últimos anos tanto na academia quanto na indústria está a plataforma FIWARE¹, desenvolvida na Comunidade Europeia e utilizada em diversos casos de sucesso relacionados a aplicações de IoT em diferentes cenários. A FIWARE fornece um conjunto de especificações disponibilizadas por meio de interfaces abertas, além de componentes funcionais genéricos, extensíveis e reutilizáveis para facilitar o desenvolvimento de aplicações, os chamados *generic enablers* (GEs). Todavia, a criação de um ambiente composto pelos principais GEs FIWARE é uma tarefa reconhecidamente complexa por requerer, em maior ou menor grau, que os usuários tenham muito conhecimento sobre os detalhes de cada serviço FIWARE antes de começar a experimentá-lo [Dantas et al. 2019], o que inclusive acaba desencorajando o uso dessa plataforma, principalmente à medida que o número de serviços a serem usados aumenta.

Com o objetivo de endereçar os problemas supramencionados, foi desenvolvido o FIWARE-Lab@RNP, um laboratório virtual para prototipação e experimentação de aplicações de IoT baseadas na plataforma FIWARE [Dantas et al. 2019]. O intuito principal do FIWARE-Lab@RNP é viabilizar o uso dos recursos da FIWARE através da Internet, de forma fácil e transparente, dispensando o usuário da necessidade de implantar e operar uma instância da FIWARE em seu próprio ambiente, além de atender às especificidades de GEs como meio de facilitar o desenvolvimento e a experimentação de aplicações de IoT. O FIWARE-Lab@RNP surgiu originalmente a partir de um projeto de pesquisa acadêmica desenvolvido como uma parceria entre a Universidade Federal do Rio Grande do

¹FIWARE: <https://www.fiware.org>

Norte (UFRN) e a Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) para o desenvolvimento de aplicações de IoT. A contribuição deste artigo é reportar a realização de um experimento controlado para avaliar o potencial do FIWARE-Lab@RNP em facilitar as tarefas de configuração e implantação de aplicações de IoT do ponto de vista dos usuários.

O restante desse artigo está estruturado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta brevemente as principais funcionalidades do FIWARE-Lab@RNP. A Seção 3 descreve o planejamento, operação e resultados do experimento controlado realizado, bem como possíveis ameaças a sua validade. A Seção 4 descreve brevemente algumas soluções correlatas ao FIWARE-Lab@RNP. A Seção 5 traz algumas considerações finais e direções para trabalhos futuros.

2. O FIWARE-Lab@RNP

O FIWARE-Lab@RNP foi projetado para facilitar a implantação e configuração de GEs FIWARE a serem utilizados por aplicações de IoT, com enfoque em contribuir com a experiência de uso tanto de usuários técnicos quanto não técnicos que desejem experimentar os serviços providos por tais GEs, tendo assim melhor controle sobre instâncias desses serviços e facilitando a configuração das aplicações. Esta seção apresenta uma visão geral de algumas funcionalidades do FIWARE-Lab@RNP. Detalhes de sua arquitetura e implementação podem ser encontrados no trabalho de [Dantas et al. 2019].

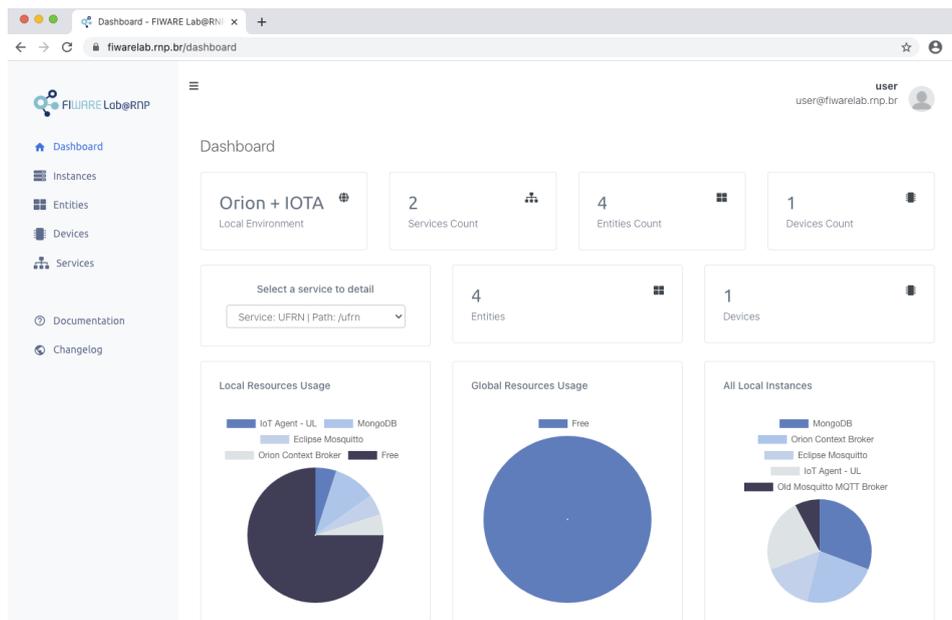
Um dos principais elementos do FIWARE-Lab@RNP é um *dashboard* Web, o qual oferece uma interface gráfica através da qual usuários podem facilmente criar instâncias de GEs FIWARE ou gerenciar os serviços por elas providos. Uma vez logado no laboratório virtual, o usuário pode ter uma visão geral das instâncias em execução, uso de recursos, entidades de contexto e dispositivos cadastrados, etc. (ver Figura 1).

As demais opções presentes na seção de navegação do *dashboard* Web dizem respeito à implantação e configuração típicas de aplicações de IoT, a saber, criação e gerenciamento de instâncias em execução, entidades de contexto, dispositivos e serviços. Para a criação de cada um desses elementos, é exibido um formulário através do qual o usuário deve fornecer as informações necessárias a essa operação. Para a criação de uma instância, o usuário pode selecionar uma imagem/*template* a ser utilizada e selecionar instâncias de serviços existentes dos quais a instância a ser criada seja dependente. Para a criação de entidades de contexto, o usuário deve prover informações como nome, tipo, atributos (cada um com nome, tipo e valor) e, opcionalmente, metadados. Já para a criação de dispositivos, o usuário deve informar um identificador para o dispositivo, o identificador da entidade de contexto associada a ele, o protocolo de comunicação a ser utilizado e, opcionalmente, um *endpoint* de comunicação, além de uma série de atributos a serem associados a tal dispositivo. Após essas etapas pelo *dashboard*, os elementos necessários à execução de aplicações de IoT já se encontram configurados e prontos para uso.

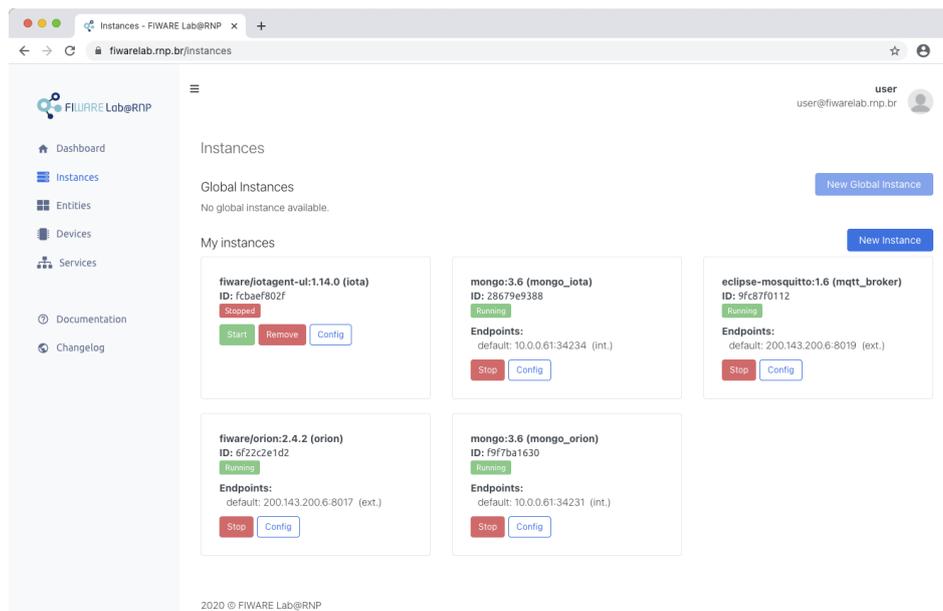
3. Estudo Experimental

O experimento controlado realizado com usuários teve por objetivo avaliar se o FIWARE-Lab@RNP provê maior facilidade de uso no que se refere à configuração de GEs FIWARE por parte de desenvolvedores de aplicações de IoT em comparação a uma configuração manual (mais precisamente feita utilizando *containers* Docker²). A configuração inclui

²What is a container?: <https://www.docker.com/resources/what-container>



(a) Página inicial do *dashboard* Web



(b) Página de gerenciamento de instâncias

Figura 1. Capturas de tela do *dashboard* Web do FIWARE-Lab@RNP

a implantação de GEs dos serviços necessários à aplicação e sua configuração, isto é, a criação de entidades, dispositivos, serviços e subscrições a entidades.

3.1. Planejamento e Operação

O planejamento e a operação do experimento foram direcionados pela seguinte questão de pesquisa: *Qual a percepção dos desenvolvedores quanto à facilidade de implantar e configurar instâncias de GEs FIWARE e configurar uma aplicação de IoT sobre os serviços providos?* Para responder essa questão, a facilidade de uso foi considerada em termos do esforço requerido para executar algumas tarefas no experimento. Tal esforço foi

mensurado pelo tempo despendido na configuração de GEs FIWARE e de uma aplicação de IoT sobre esses GEs.

No experimento em questão, foi considerado como fator o modo de configuração (isto é, como as atividades foram realizadas), sendo a configuração manual qualificada como controle e o uso do FIWARE-Lab@RNP como tratamento. Já a variável dependente estudada foi o tempo despendido para instanciar um conjunto de GEs FIWARE e configurar seus serviços. As seguintes hipóteses nula (H_0) e alternativas (H_1 e H_2) foram formuladas para investigação no experimento:

- H_0 : A diferença em termos de tempo para configurar instâncias de GEs FIWARE e uma aplicação de IoT manualmente ou utilizando o FIWARE-Lab@RNP não é significativa, ou seja, ambas as abordagens apresentam tempo similar para configuração.
- H_1 : O tempo para configurar instâncias de GEs FIWARE e uma aplicação de IoT manualmente é significativamente menor em comparação ao uso do FIWARE-Lab@RNP.
- H_2 : O tempo para configurar instâncias de GEs FIWARE e uma aplicação de IoT manualmente é significativamente maior em comparação ao uso do FIWARE-Lab@RNP.

O experimento foi conduzido com nove participantes com experiência no desenvolvimento de aplicações de IoT com componentes da FIWARE, sendo dois estudantes de Graduação, quatro estudantes de Mestrado, um estudante de Especialização e dois estudantes de Doutorado. Os participantes tinham conhecimento acerca dos principais serviços providos pela FIWARE bem como certa familiaridade com eles, porém não tinham prática na implantação e configuração de instâncias de GEs, ou seja, eles tinham experiência apenas enquanto consumidores de serviços já previamente implantados. A amostragem dos participantes foi feita de forma não probabilística, por conveniência, devido à dificuldade em encontrar um conjunto grande de indivíduos que poderiam atender ao requisito de ter experiência com a plataforma FIWARE.

A atividade proposta no experimento consistiu em configurar um ambiente composto por um conjunto de serviços FIWARE para dar suporte a uma aplicação de sala inteligente. No cenário proposto, dispositivos físicos implantados na sala são responsáveis por monitorar variáveis ambientais tais como temperatura, umidade, ocupação da sala e número de pessoas, bem como enviar comandos para controlar automaticamente aparelhos de ar condicionado. Para dar suporte a essa aplicação de IoT, é necessário inicialmente implantar o conjunto de instâncias de GEs FIWARE requeridas pelas funcionalidades da aplicação, mais especificamente (i) o gerenciador de contexto *Orion Context Broker*, (ii) o *IoT-Agent Ultralight*, o qual permite a comunicação da plataforma com os dispositivos físicos, e (iii) o *Cygnus*, o qual faz a ligação com bases de dados para armazenamento de eventos. Para conectar esses serviços, algumas instâncias de bancos de dados utilizadas por cada serviço necessitam também ser configuradas, a saber, MongoDB (utilizado pelo *Orion Context Broker* e pelo *IoT-Agent*) e PostgreSQL (utilizado pelo *Cygnus*).

Uma rápida sessão de treinamento com 30 minutos de duração foi inicialmente realizada com os participantes com o objetivo de nivelar o conhecimento necessário à participação no experimento. Nessa sessão de treinamento, foram dadas informações relacionadas aos serviços providos pelos principais GEs FIWARE, além de ter sido apresentada a arquitetura da aplicação a ser utilizada ao longo do experimento e fornecida uma visão geral acerca das duas abordagens de implantação e configuração de componentes (utilizando *containers* Docker e o FIWARE-Lab@RNP) foram brevemente apresentadas.

Após a sessão de treinamento, a atividade a ser realizada ao longo do experimento foi explanada. Um repositório³ contendo instruções detalhadas para a atividade proposta, bem como os parâmetros e valores requeridos para criar os elementos da aplicação foi disponibilizado aos participantes. O material também continha um conjunto pré-selecionado de *links* para a documentação oficial da FIWARE, apontando diretamente para partes importantes da documentação que poderiam ser necessárias para realizar a configuração manual. Isso foi feito para possibilitar a realização da atividade com o apoio da documentação caso o participante não soubesse como realizar alguma tarefa.

O tempo despendido para realizar a tarefa em cada abordagem com a qual cada participante iniciou (inicialmente definida de forma aleatória) foi registrado. Em seguida, cada participante iniciou a execução da atividade com a outra abordagem e o tempo despendido foi também registrado. Os participantes tiveram um tempo limite de 1h45 para completar a tarefa utilizando cada abordagem. Após finalizar as atividades utilizando ambas as abordagens, os participantes responderam um questionário eletrônico proposto com o objetivo de avaliar sua experiência na execução da tarefa proposta no experimento e obter suas percepções no que se refere ao esforço na utilização de ambas as abordagens. Um intervalo de tempo de 15 minutos foi definido para preenchimento do questionário.

O tempo total máximo estabelecido para realizar as atividades propostas no experimento foi de 4h30, porém a maioria dos participantes completou as atividades antes desse tempo. Ao final do experimento, os artefatos produzidos foram coletados e organizados para análise dos resultados.

3.2. Resultados

Análise quantitativa

A análise quantitativa dos resultados coletados consistiu de três procedimentos estatísticos, todos eles implementados utilizando a linguagem e ambiente R. Esses procedimentos foram: (i) análise estatística descritiva, através do cálculo de medidas resumo; (ii) teste de hipótese para verificar a validade das hipóteses formuladas para comparação das abordagens analisadas, e; (iii) cálculo do tamanho de efeito como forma de fortalecer as conclusões estatísticas e facilitar a interpretação dos resultados. O teste de Shapiro-Wilk [Shapiro and Wilk 1965] foi utilizado para verificar se os dados seguiam ou não uma distribuição normal. Por sua vez, considerando que existe dependência entre as amostras, isto é, elas são pareadas no sentido que cada valor em uma amostra está relacionado a um valor na outra, os testes *t* de Student pareado e o de Wilcoxon foram utilizados como alternativas para a realização de teste de hipótese, dependendo se os dados seguem ou não uma distribuição normal [Fay and Proschan 2010]. O teste de hipótese revela se existe uma diferença estatisticamente significativa entre os conjuntos de dados analisados a partir do *p*-valor retornado. A um dado nível de significância $\alpha \in [0, 1]$, a forma bicaudal do teste de hipótese postula que, se *p* – valor $> 1 - \alpha$, a hipótese nula H_0 deve ser rejeitada e a hipótese alternativa H_1 deve ser aceita. Por outro lado, se *p*-valor $< \alpha$, a hipótese nula H_0 deve ser rejeitada e a hipótese alternativa H_2 deve ser aceita, caso contrário não é possível estabelecer conclusões acerca de diferenças estatisticamente significativas entre as amostras.

O *p*-valor retornado por um teste de hipóteses pode apontar que existe diferença estatisticamente significativa entre os conjuntos de dados analisados, porém ele

³<https://github.com/lucascriistiano/experimento-fiwarelab-rnp>

Tabela 1. Estatísticas do tempo despendido pelos usuários (em minutos) com as abordagens avaliadas

Abordagem	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Manual	89,66667	101	24,637370	37	105
FIWARE-Lab@RNP	37,44444	40	7,650345	25	45

não diz o quão diferentes eles são, ainda que a diferença seja mínima [Ellis 2010, Kelley and Preacher 2012]. Dessa forma, quanto maior for o tamanho do efeito, maior a evidência acerca de que uma abordagem produziu resultados significativos com relação à outra. Entre as diversas métricas existentes para mensurar o tamanho do efeito, o coeficiente d de Cohen [Cohen 1988] é definido como a diferença entre as médias de duas amostras divididas pela média ponderada dos desvios padrão dessas amostras.

Em uma análise inicial dos dados coletados no experimento, foi possível observar que o tempo médio despendido utilizando a abordagem manual foi mais que o dobro em comparação com o uso do FIWARE-Lab@RNP, como confirmam as estatísticas descritivas mostradas na Tabela 1. Utilizando a abordagem manual, a maioria dos usuários (quase 80%) realizou a tarefa entre 1h30 e 1h50. Por outro lado, todos os usuários realizaram a configuração utilizando o FIWARE-Lab@RNP em menos de 45 minutos e um terço destes completou a tarefa proposta em menos de meia hora.

O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar, de forma analítica, a normalidade dos conjuntos de dados para um nível de significância $\alpha = 0.05$. De acordo com os resultados desse teste, observou-se que os resultados referentes ao tempo de execução para a abordagem manual não seguiam uma distribuição normal (p -valor = 0,0005984), enquanto que os resultados de tempo de execução para o uso do FIWARE-Lab@RNP sim (p -valor = 0,05765). Esses resultados levaram à escolha do teste de Wilcoxon, não paramétrico, para testar a hipótese nula H_0 comparando as abordagens analisadas.

A execução do teste de Wilcoxon sob um nível de significância $\alpha = 0.05$ resultou em p -valor = 0,00638625, levando à rejeição da hipótese nula H_0 e à aceitação da hipótese alternativa H_2 , comprovando que o tempo de execução com o FIWARE-Lab@RNP é significativamente menor que o da abordagem manual. Finalmente, o tamanho do efeito para os resultados do experimento foi mensurado pelo coeficiente d de Cohen, resultando em $d = -2,272278$, o que representa um grande tamanho de efeito. O valor negativo de d indica que a média do controle (no caso, a abordagem manual) é significativamente maior que a média do tratamento (no caso, o FIWARE-Lab@RNP).

Análise qualitativa

O questionário respondido no experimento foi elaborado com o objetivo de coletar a percepção de esforço, facilidade e satisfação dos participantes utilizando ambas as abordagens, além de comentários positivos e negativos acerca do uso do FIWARE-Lab@RNP. Uma análise qualitativa das respostas foi então realizada para identificar pontos de concordância levantados pelos participantes. Como o experimento não teve por objetivo avaliar aspectos de usabilidade, questionários com esse propósito não foram utilizados.

O questionário consistiu de 23 questões fechadas e quatro questões abertas. A primeira questão dizia respeito ao perfil dos usuários em termos de formação, enquanto que a segunda e a terceira questões diziam respeito a experiências prévias dos usuários com a plataforma FIWARE. Sete questões fechadas endereçaram o uso da FIWARE com

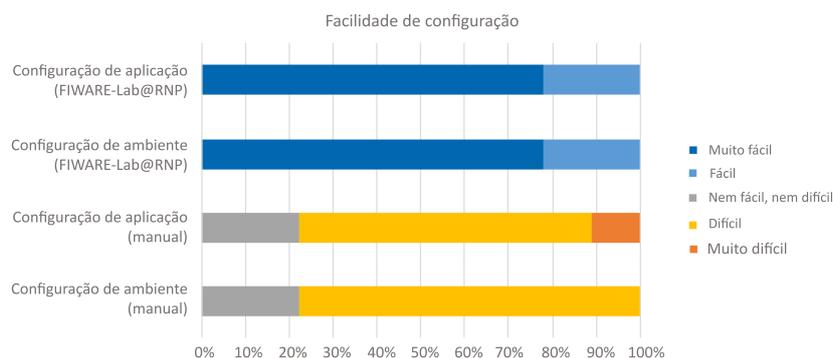


Figura 2. Resumo das respostas às questões acerca da facilidade de configuração com o FIWARE-Lab@RNP e a abordagem manual

a abordagem manual, seguidas por oito questões fechadas acerca do uso do FIWARE-Lab@RNP, além de três questões abertas formuladas com o objetivo de identificar facilidades e dificuldades no seu uso, bem como sugestões de melhoria. As questões abertas tinham cinco opções nominais para resposta, incluindo tanto rótulos numéricos (1-5) quanto rótulos expressando diferentes níveis de dificuldade. Finalmente, havia cinco questões fechadas acerca da operação do experimento para identificar qualquer fator que pudesse ter influência sobre os resultados (tais como cansaço físico/mental dos participantes ou dúvidas), seguidas por uma questão aberta opcional para comentários gerais.

O grupo de questões referentes à facilidade de realização da atividade proposta, a saber, a configuração utilizando a abordagem manual e o FIWARE-Lab@RNP (ver Figura 2) indicou que a maioria dos participantes (77,8%) considerou o processo de implantar GEs FIWARE difícil quando utilizada a abordagem manual. A maioria dos participantes (77,8%) também considerou a configuração manual de elementos da aplicação (isto é, a criação de entidades, dispositivos, etc.) como uma atividade difícil. Quando questionados acerca da dificuldade de implantar e configurar um conjunto de serviços FIWARE e elementos da aplicação utilizando o FIWARE-Lab@RNP, todos os participantes consideraram que o FIWARE-Lab@RNP facilita de forma significativa essas atividades.

Quando questionados acerca do grau de satisfação quanto à implantação de componentes e configuração de elementos da aplicação (ver Figura 3), a maioria dos participantes (55,5%) não se sentiu satisfeita em realizar a tarefa utilizando a abordagem manual. Feita a mesma pergunta com relação ao uso do FIWARE-Lab@RNP, todos os participantes demonstraram satisfação em realizar as tarefas utilizando o laboratório virtual.

Os participantes também foram questionados em como eles avaliariam o uso do FIWARE-Lab@RNP para realizar as atividades em comparação à abordagem manual (ver Figura 4). Todos os participantes consideraram o uso do FIWARE-Lab@RNP melhor do que o uso da abordagem manual, dos quais 88% consideraram o primeiro muito melhor que o último. Quando questionados acerca da utilidade do FIWARE-Lab@RNP para realizar tais tarefas (ver Figura 5), todos os participantes o consideraram muito útil. Em termos de opinião geral acerca do FIWARE-Lab@RNP, quase todos os participantes o classificaram como muito bom (ver Figura 6).

Com relação às questões abertas, a primeira questão buscou identificar pontos fortes e facilidades no que se refere ao uso do FIWARE-Lab@RNP em contraste com a abordagem manual. A maioria das respostas a esta questão destacaram (i) a velocidade

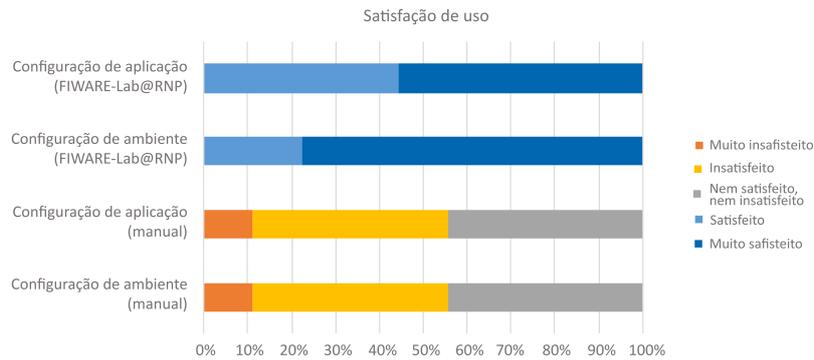


Figura 3. Resumo das respostas às questões acerca da satisfação de uso do FIWARE-Lab@RNP e da abordagem manual

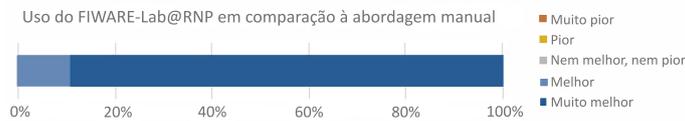


Figura 4. Resumo das respostas referentes à comparação entre o FIWARE-Lab@RNP e a abordagem manual



Figura 5. Resumo das respostas referentes à utilidade do FIWARE-Lab@RNP para realizar configurações

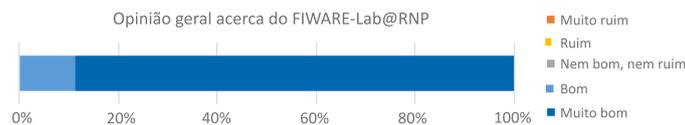


Figura 6. Resumo das respostas referentes à opinião geral acerca do FIWARE-Lab@RNP

de implantação dos serviços e configuração da aplicação, (ii) a possibilidade de obter maior produtividade na realização dessas tarefas e (iii) a fácil criação de um ambiente de experimentação no qual uma rápida criação e remoção de elementos seria necessária. Vários participantes também destacaram a facilidade de realizar essas tarefas através do FIWARE-Lab@RNP, enfatizando a simplicidade de configuração como um elemento positivo para guiar esse processo. Os principais pontos positivos para alcançar tal simplicidade incluem a abstração para configuração da comunicação entre serviços, bem como o fato de que não é necessário conhecer detalhes de sintaxe e modelos aceitos por cada serviço FIWARE para realizar a configuração da aplicação. O uso da interface gráfica para realizar essas tarefas também foi percebido pelos participantes como um elemento positivo do FIWARE-Lab@RNP em comparação com a abordagem manual. Essa simplicidade e facilidade de uso são aspectos importantes principalmente para usuários iniciantes na FIWARE e seus GEs, de modo que o FIWARE-Lab@RNP pode ser uma forma de simplificar o primeiro contato com a plataforma e permitir aos desenvolvedores foca-

rem na aplicação em si. Outro aspecto importante levantado pelos participantes foi que o FIWARE-Lab@RNP livra os desenvolvedores da necessidade de gerenciar e manter um ambiente próprio para executar serviços FIWARE.

A segunda questão aberta solicitou aos participantes que elencassem pontos fracos e dificuldades no uso do FIWARE-Lab@RNP em comparação com a abordagem manual, bem como sugestões de melhoria. Embora a simplicidade para configurar elementos da plataforma foi levantada como um ponto positivo do FIWARE-Lab@RNP, algumas melhorias foram também levantadas para esse ponto. Os participantes reportaram que a existência de um maior grau de configurabilidade de instâncias de serviço na interface e a flexibilidade dos usuários para realizar configurações após a criação e customizações em um dado serviço seriam pontos que poderiam ser considerados no FIWARE-Lab@RNP. Alguns participantes também levantaram que o suporte à adição de novos GEs e serviços por um usuário padrão (sejam eles baseados ou não na FIWARE) poderia aumentar o grau de autonomia do desenvolvedor e facilitar o processo de desenvolvimento.

Por fim, a terceira questão aberta solicitou aos participantes que levantassem sugestões de melhoria do FIWARE-Lab@RNP. Os participantes sugeriram: (i) prover meios para reutilizar componentes de um ambiente/aplicação para outro, incluindo a duplicação de instâncias e suas configurações; (ii) criar entidades e dispositivos com base em elementos já existentes, e; (iii) oferecer mais opções para editar esses elementos após sua criação através do *dashboard* Web. Alguns ajustes referentes à usabilidade do FIWARE-Lab@RNP foram também sugeridos pelos participantes, em particular (i) tornar a configuração de alguns elementos mais visível, (ii) inserir elementos de ajuda para guiar usuários que não tenham conhecimento prévio acerca dos elementos de uma aplicação baseada na FIWARE e (iii) ajustes para tornar a interface do *dashboard* mais responsiva com relação a diferentes tamanhos de tela.

A partir dos resultados quantitativos e qualitativos do experimento realizado, é possível afirmar que o FIWARE-Lab@RNP contribuiu para simplificar e facilitar a implantação e uso de componentes e serviços da FIWARE. A percepção positiva dos usuários e o tempo reduzido para realizar as tarefas propostas indicam que o FIWARE-Lab@RNP pode efetivamente melhorar a experiência de uso de serviços de plataformas de IoT tais como a FIWARE.

3.3. Ameaças à Validade

Validade externa. A validade externa está relacionada à capacidade de generalização dos resultados obtidos para outros contextos, sendo a falta de representatividade de tais resultados uma ameaça frequente à validade externa. De fato, uma das principais limitações do experimento realizado diz respeito ao número reduzido de participantes, consequência do requisito de experiência prévia com o processo de configuração da plataforma FIWARE. Além disso, o experimento considerou um conjunto pequeno de GEs FIWARE, de modo que estudos futuros com um número maior de componentes e com outras aplicações necessitam ser realizados para possibilitar uma melhor generalização dos resultados.

Validade de construção. A validade de construção em um estudo experimental está relacionada à capacidade do projeto experimental de responder às questões de pesquisa investigadas. A metodologia adotada no planejamento e operação do experimento, bem como na análise dos resultados obtidos, foi extensivamente discutida com pesquisa-

dores com experiência em Engenharia de Software Experimental a fim de mitigar potenciais ameaças à validade de construção.

Validade de conclusão. A validade de conclusão concerne principalmente a análise dos resultados obtidos, estando relacionada ao quanto eles podem ser considerados corretos e ao quão rigoroso e reprodutível foi o processo para estabelecer conclusões a partir desses resultados. Para minimizar possíveis ameaças à validade de conclusão, os resultados obtidos foram analisados, do ponto de vista quantitativo, utilizando técnicas estatísticas robustas. Todavia, o tamanho das amostras consideradas em tais testes não foi grande (nove), o que pode impactar a significância estatística dos resultados e afetar o poder estatístico dos testes. Outra ameaça à validade de conclusão diz respeito ao fato de que não foram empregadas metodologias específicas para análise qualitativa das respostas fornecidas pelos participantes do experimento ao questionário aplicado.

4. Soluções Correlatas

A plataforma FIWARE provê uma solução própria para o gerenciamento de instâncias de GEs em execução sobre uma infraestrutura baseada em OpenStack, o *FIWARE Lab*. Essa ferramenta foi planejada para ser implantada em nós computacionais distribuídos ao redor do mundo, criando uma rede federada de nós FIWARE Lab. As funcionalidades providas pelo *dashboard* do FIWARE Lab não diferem daquelas providas pelo OpenStack Horizon⁴, um *dashboard* Web para configuração de componentes da plataforma OpenStack implantados sobre máquinas virtuais. Entretanto, a necessidade de executar instâncias de GEs sobre máquinas virtuais em OpenStack coloca-se como impedimento a usuários não técnicos para acessarem o FIWARE Lab e configurarem uma implantação da FIWARE em uma infraestrutura computacional diferente, principalmente local. Outra limitação diz respeito ao fato de que a configuração desses serviços é feita manualmente, tarefa que é facilitada pelo FIWARE-Lab@RNP.

O projeto *Helix*⁵ oferece, além de uma solução comercial, uma ferramenta comunitária chamada *Helix Sandbox*⁶, a qual consiste de um *sandbox* que permite criar instâncias locais de alguns serviços FIWARE e configurar elementos básicos de aplicações. Todavia, nem todos os elementos da plataforma FIWARE e seus GEs podem ser criados utilizando o *dashboard* provido pelo *Helix Sandbox*, que permite criar instâncias apenas do *Orion Context Broker* e de *IoT-Agents*. Além disso, os elementos típicos de aplicações FIWARE tais como entidades de contexto e respectivas subscrições não são configuráveis utilizando as funcionalidades providas pela ferramenta e dispositivos e seus atributos são registrados em seções distintas do *dashboard*. Por sua vez, o FIWARE-Lab@RNP possibilita a instanciação de uma ampla gama de GEs FIWARE, além de possibilitar a fácil configuração de elementos de aplicações, como dispositivos e entidades de contexto.

5. Considerações Finais

Este artigo apresentou os resultados de uma avaliação do FIWARE-Lab@RNP, um laboratório virtual Web para o desenvolvimento de aplicações de IoT com enfoque no gerenciamento de instâncias de serviços providos pela plataforma europeia FIWARE e na

⁴*Horizon: The OpenStack Dashboard Project*: <https://docs.openstack.org/horizon/latest/>

⁵*The Helix Platform*: <https://gethelix.org>

⁶*Helix Sandbox*: <https://github.com/helix-iot/helix-sandbox>

configuração de tais aplicações. O FIWARE-Lab@RNP provê funcionalidades para permitir fácil criação, configuração e gerenciamento de instâncias de componentes FIWARE, dispositivos e entidades de contexto, ao passo que busca minimizar a curva de aprendizado relativa a essas tarefas, contribuindo assim para reduzir o esforço requerido para o desenvolvimento de aplicações de IoT. Essa facilidade é consolidada por um *dashboard* Web que abstrai chamadas a interfaces de configuração e facilita o acesso através de uma interface de gerenciamento, permitindo assim que usuários não técnicos realizem a configuração de componentes e aplicações e o consumo de serviços de forma transparente. Os resultados observados por meio de um experimento controlado com desenvolvedores de aplicações de IoT mostraram o potencial do FIWARE-Lab@RNP para reduzir o esforço de implantação e configuração de serviços para aplicações de IoT e, ao mesmo tempo, melhorar a experiência de uso da plataforma subjacente.

Considerando todas as etapas de desenvolvimento de uma aplicação de IoT, o FIWARE-Lab@RNP atualmente possui foco na implantação de componentes de uma plataforma de IoT e sua utilização de forma fácil na configuração de aplicações. Em razão disso, o laboratório virtual não provê meios de facilitar outras tarefas que possam estar envolvidas no processo de configuração, tais como embutir código em dispositivos físicos, configurar dispositivos e consumir e processar dados providos por dispositivos. Essas limitações podem ser objeto de trabalhos futuros de melhorias para o FIWARE-Lab@RNP.

Referências

- Atzori, L., Iera, A., Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15):2787–2805.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Lawrence Erlbaum Associates, USA.
- Dantas, L., Cavalcante, E., Batista, T. (2019). A development environment for FIWARE-based Internet of Things applications. In *Proc. of the 6th International Workshop on Middleware and Applications for the Internet of Things*, páginas 21–26, USA. ACM.
- Delicato, F. C., Pires, P. F., Batista, T. (2013). *Middleware solutions for the Internet of Things*. Springer, United Kingdom.
- Ellis, P. D. (2010). *The essential guide to effect sizes: Statistical power, meta-analysis, and the interpretation of research results*. Cambridge University Press, United Kingdom.
- Fay, M. P. Proschan, M. A. (2010). Wilcoxon-Mann-Whitney or *t*-test? on assumptions for hypothesis tests and multiple interpretations of decision rules. *Statistics Surveys*, 4:1–39.
- Kelley, K. Preacher, K. J. (2012). On effect size. *Psychological Methods*, 17(2):137–152.
- Mineraud, J., Mazhelis, O., Su, X., Tarkoma, S. (2016). A gap analysis of Internet-of-Things platforms. *Computer Communications*, 89:5–16.
- Ngu, A. H. H., Gutierrez, M., Metsis, V., Nepal, S., , Sheng, Q. Z. (2016). IoT middleware: A survey on issues and enabling technologies. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(1):1–20.
- Razzaque, M. A., Milojevic-Jevric, M., Palade, A., Clarke, S. (2015). Middleware for Internet of Things: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(1):70–95.
- Shapiro, S. S. Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3/4):591–611.