

Uma abordagem arquitetural para *Living Labs* com ferramentas *Open Source*

Fábio Silva Lopes
Universidade Presbiteriana
Mackenzie
São Paulo, Brasil
flopes@mackenzie.br

Álvaro Hibide Claver
Universidade Presbiteriana
Mackenzie
São Paulo, Brasil
10368757@mackenzie.com.br

Elieder Damasceno Sousa
Universidade Presbiteriana
Mackenzie
São Paulo, Brasil
1171940@mackenzie.br

Ivan Carlos Alcântara de
Oliveira
Afiliação do autor
Cidade, País
ivan.oliveira@mackenzie.br

Abstract—Living Labs are innovation environments that facilitate co-creation and experimentation in urban areas, integrating different actors and technologies. A digital Living Labs platform must provide conditions for MVPs considering scalability, security and interoperability requirements, among others, for experiments that aim to meet needs within the scope of smart and sustainable cities. However, Living Labs are experimental spaces that reproduce environments on a smaller scale and there may be difficulties in validating non-functional requirements. Research opportunities can therefore be observed in this context, to contribute with quality experimental conditions that are closer to real action scenarios. This work presents an architectural approach implemented in the context of a university campus with characteristics like a city on a smaller scale and discusses the results considering the non-functional requirements that must be met in the generalization of the products and services tested on this platform. Attention to non-functional requirements and the use of open-source tools were emphasized to ensure flexibility, accessibility and collaborative innovation. In a complementary way, this study raises some project challenges that have not yet been investigated.

Keywords— Living Labs; Software Architecture; Non-functional requirements.

Resumo— *Living Labs* são ambientes de inovação que facilitam a co-criação e experimentação em áreas urbanas, integrando diferentes atores e tecnologias. Uma plataforma digital de *Living Labs* deve prover condições para provas de conceito de MVP's considerando requisitos de escalabilidade, segurança e interoperabilidade, entre outros, para os experimentos que objetivam atender necessidades no âmbito das cidades inteligentes e sustentáveis. Contudo, *Living Labs* são espaços experimentais que reproduzem ambientes em menor escala e pode haver dificuldade na validação de requisitos não funcionais. Observa-se então oportunidades de pesquisa nesse contexto, de modo a contribuir com condições experimentais de qualidade mais próximas dos cenários reais de atuação. Este trabalho apresenta uma abordagem arquitetural implementada no contexto de um campus universitário com características similares a uma cidade em menor escala e discute os resultados considerando os requisitos não funcionais que devem ser atendidos na generalização dos produtos e serviços testados nessa plataforma. Enfatizou-se a atenção aos requisitos não funcionais e o uso de ferramentas *open source* para garantir flexibilidade, acessibilidade e inovação colaborativa. De modo complementar, este estudo levanta alguns desafios do projeto ainda não investigados.

Palavras-chave—*Living Labs*; Arquitetura de Software; Requisitos não funcionais.

I. INTRODUÇÃO

Há uma conexão importante entre os termos Cidades Inteligentes e Sustentabilidade, em evidência na literatura científica [1]. Cidades precisam garantir acesso a recursos de modo sustentável aos seus municípios. Não obstante, as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) se inserem nesta seara de modo contundente, provendo “inteligência tecnológica” associada a produtos e serviços para a efetividade de muitos anseios da sociedade que vive em grandes aglomerados urbanos.

No ritmo acelerado da inovação tecnológica, não é exagero dizer que diariamente surgem novos produtos e serviços voltados para essa temática. Contudo, na realidade brasileira, observa-se uma longa estrada entre a criação e a implantação efetiva das ideias. Vários obstáculos podem ser elencados como impeditivos do uso desses novos recursos nas cidades. Mas a cidade é um sistema complexo e deve considerar uma abordagem sociotécnica para conciliar necessidade e soluções [2].

Cidades são sistemas complexos e caóticos que são impactadas por diversos atores. A estratégia de desenvolvimento da cidade envolve várias esferas urbanas e a implementação dessas estratégias visam a melhoria da qualidade de vida e a satisfação das necessidades do cidadão [3].

Considerando o supracitado, não é trivial implementar soluções tecnológicas de modo satisfatório para os vários *stakeholders*. A questão se agrava quando não temos casos de sucesso em situações conhecidas como implementações para *early-adopters*.

Tecnologias digitais bem governadas podem servir como catalisadores para o desenvolvimento sustentável, contribuindo para um ambiente urbano mais consciente do meio ambiente e socialmente equitativo. A análise de dados e a infraestrutura inteligente podem otimizar o consumo de energia, reduzir as emissões de carbono e facilitar a transição para fon-

tes de energia renováveis. As plataformas digitais podem melhorar o acesso a moradias populares, agilizar a entrega de serviços públicos e empoderar os cidadãos a participar da formulação de políticas.

Weiss et al. [4] argumentam que na agenda de futuras realizações das cidades estão a implementação de prédios inteligentes; encurtamento das distâncias; avanços nas formas de comunicação; sensoriamento e monitoração do sistema de transportes público e do tráfego urbano; redução das emissões de CO₂; maior eficiência no fornecimento de serviços básicos (saúde, transportes, segurança e educação) por meio de sistemas integrados, inteligentes e acessíveis a todos. Inclusão social e digital, mobilidade, educação, saúde, segurança, uso racional dos recursos naturais e serviços aos cidadãos estão entre os desafios da implementação das cidades inteligentes.

No bojo destas dificuldades, o conceito de *Living Lab* ganha notoriedade, pois constituem uma abordagem para estudos em cidades inteligentes, que envolve ambientes de inovação abertos, na qual empresas, pesquisadores, governos e cidadãos colaboram para desenvolver, testar e validar novas tecnologias e soluções em condições reais de uso. Esses espaços geralmente são projetados para refletir o ambiente real em que as tecnologias serão usadas, permitindo que as soluções sejam aprimoradas com base no *feedback* dos usuários e das partes interessadas [5].

Com dados coletados de sensores IoT distribuídos em pontos estratégicos da cidade e analisados por algoritmos e modelos de Inteligência Artificial (IA), as administrações municipais podem prever e mitigar problemas antes que ocorram, planejar melhorias na infraestrutura e garantir a eficiência energética, promovendo uma urbanização sustentável e resiliente.

Contudo, é dispendioso e complexo implementar ou desenvolver provas de conceito de projetos em condições reais. Isso corrobora a hipótese de ter um ambiente previamente estabelecido como campo de prova para os projetos de cidades inteligentes e sustentáveis.

Os experimentos em menor escala, direcionados a um campus universitário, permitem testar produtos em um ambiente controlado, que podem ser replicados posteriormente para cidades reais. Nesse sentido, a implantação de *Minimum Viable Product* (MVP) de TICs previamente experimentadas em ambientes com essas características contribuem para a generalização do modelo a ser replicado em cidades maiores, antecipando a visibilidade de problemas que podem vir a ocorrer em situações reais.

Considerando os aspectos até aqui levantados, surge o seguinte problema de pesquisa: Os ambientes de *Living Lab* fazendo uso de ferramentas *open source* são capazes de prover subsídios para validar atributos de qualidade como escalabilidade, disponibilidade, segurança, entre outros?

Assim, este estudo, classificado como *working in progress*, objetivou apresentar o estado atual de maturidade de um *Living Lab* implementado em um campus universitário com ferramentas *open source* como base para discussão sobre a viabilidade de avaliação dos requisitos não funcionais relevantes para cidades reais.

Este artigo foi estruturado da seguinte forma: A seção I apresenta a motivação do problema e objetivo da pesquisa. A seção II descreve características da Plataforma digital para *Living Labs*, já implementada no campus universitário. Detalhes da implementação e a problemática da validação de requisitos não funcionais são discutidos na seção III. Por fim, a seção IV apresenta as conclusões do estudo e o direcionamento da pesquisa em andamento.

II. PLATAFORMA DIGITAL PARA LIVING LABS

Nesta seção, é apresentada a organização geral da plataforma digital para *Living Labs* do campus universitário, com destaque para a criação da *Virtual Private Cloud* (VPC), suas VMs, sendo duas públicas e uma privada, bem como as ferramentas *open-source* utilizadas para a sua implementação.

a. VPC (Virtual Private Cloud)

A plataforma digital do Laboratório conta com 3 VMs, integradas em uma VPC, como apresentado na Figura 1. Nessa figura, cada VM é denominada *Living Lab Platform* (LLP).

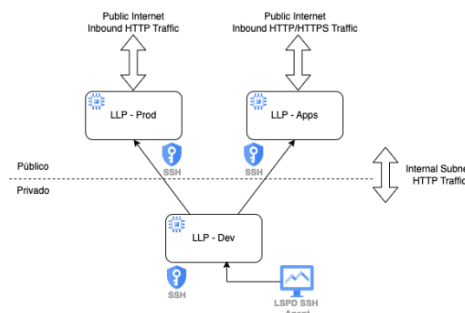


Figura 1 – Visão Geral da Organização da VPC – *Living Lab Platform*.

Existe um acesso direto à internet pública via DNS, disponível apenas para as LLPs Prod e Apps. A terceira rede, LLP Dev, é acessível apenas dentro da sub-rede privada. O acesso entre as LLPs é feito via SSH (*Securit Socket Shell*) com o auxílio do agente SSH para o gerenciamento das chaves. A conexão é iniciada pelo endereço `lspd`, que atua como intermediário para a LLP Dev, permitindo o acesso às demais máquinas virtuais. Assim, para acessar o SSH o endereço usado é `lspd.mackenzie.br`.

O proxy reverso é utilizado para encaminhar as requisições *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) para o container correto e, apesar de existir somente um domínio, permite hospedar diversas aplicações.

Já a *Content Delivery Network* (CDN), configurada junto a Nginx (<https://nginx.org/en/>), se responsabiliza por entregar partes estáticas de aplicativos dinâmicos de forma rápida e otimizada facilitando a configuração do proxy reverso.

A LLP Dev é utilizada para desenvolvimento das aplicações até estarem estáveis para disponibilizar na LLP Apps, além da LLP Dev funcionar como um espelho para as LLPs Prod/Apps.

b. NGINX

Nginx (<https://nginx.org/en/>) é um servidor web de código aberto com boa performance, que também atua como proxy reverso e balanceador de carga.

A VM LLP-Apps (Figura 2) direciona todas as requisições para a porta 80 do Nginx. Isso ocorre porque o subdomínio utilizado é parte do domínio do campus universitário e o servidor DNS desse campus encaminha as requisições para a VM correta.

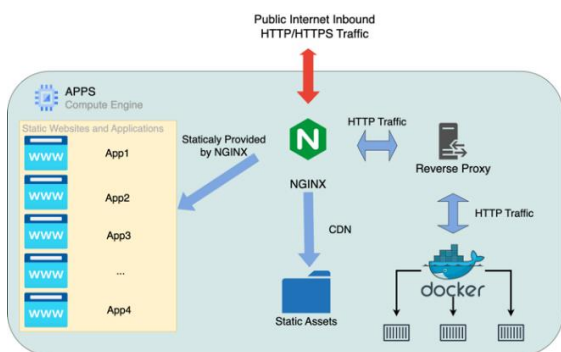


Figura 2 – Artefatos da LPP-Apps – Living Lab Platform.

Na LLP-Apps, Nginx é utilizado para servir aplicações (sites) estáticos bem como para proxy reversa.

Entre as Aplicações da LLP-Apps, o RabbitMQ (<https://www.rabbitmq.com/>) foi instalado como gerenciador de fila no pipeline de dados, fazendo a etapa de ingestão de dados de sensores.

O datalake da LLP também está nessa VM, contando com serviços de catálogo e armazenamento em bancos de dados como o PostgreSQL (<https://www.postgresql.org/>) e MongoDB (<https://www.mongodb.com/pt-br>), de *raw-data* e *datasets* pré-processados para atender modelos analíticos e dashboards.

c. Containers e Observabilidade

As aplicações da plataforma dispostas em containers Docker (<https://www.docker.com/>) que permitem empacotar produtos de software e dependências de modo leve e portátil. No LLP são usadas duas formas de gerenciar contêineres com a ferramentas Swarm (<https://pt.swarmapp.com/>): 1) execução de contêineres individualmente ou 2) uso do Compose (<https://docs.docker.com/compose/>) para configurar uma pilha com dois ou mais contêineres.

O Swarm é o modo para orquestração padrão do Docker, que permite criar, replicar e atualizar serviços para garantir alta escalabilidade. Para facilitar o gerenciamento do cluster Docker, é usada a ferramenta Portainer (<https://www.portainer.io/>), e para alcançar uma observabilidade eficiente, faz-se o uso da plataforma de *Software as a Service* (SaaS) Datadog (<https://www.datadoghq.com/>).

A Figura 3 ilustra a LLP-Prod e aplicações disponibilizadas neste cenário implementado com Docker, Swarm e Datadog.

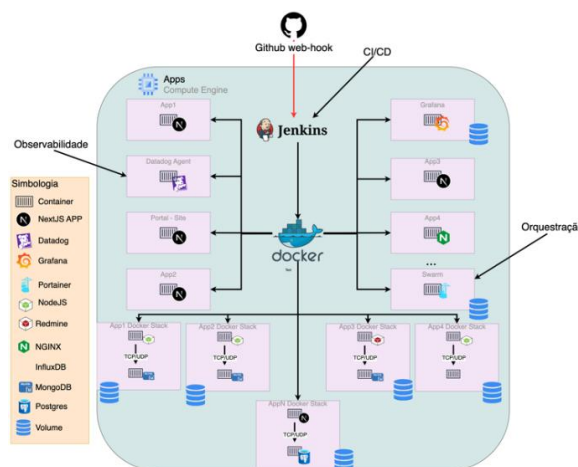


Figura 3 – Visão Expandida do cluster Docker da LLP Prod.

Na LLP Prod expandida (Figura 3), encontra-se o Jenkins (<https://www.jenkins.io/>) que é uma ferramenta de automação *open-source* para Integração Contínua (CI) e Entrega Contínua /Desenvolvimento Contínuo (CD), que permite aos desenvolvedores integração e testes contínuos das suas atualizações de código. Ele detecta automaticamente erros ao construir e testar cada *commit* e integra-se com o GitHub (<https://github.com/>) por meio de *webhooks*, que disparam processos de construção junto ao Docker a cada *commit*, facilitando a atualização das aplicações.

Dentre as diversas aplicações que se encontram no ambiente de produção LLP Prod, tem-se uma aplicação de software livre para gerenciamento de projetos (Readmine - <https://www.redmine.org/>), uma aplicação desenvolvida por um laboratório da universidade que captura informações do clima de uma estação meteorológica instalada em um prédio do próprio campus e uma aplicação carrossel que executa em uma *Smart TV* instalada em uma das faculdades e que controla a exibição de diversas informações de interesse dos estudantes, professores, gestores e pesquisadores.

III. DISCUSSÃO SOBRE REQUISITOS NÃO FUNCIONAIS

A arquitetura supra descrita foi implementada nas dependências de um campus universitário que possui características similares a uma pequena cidade. O campus recebe em torno de 25 mil alunos diariamente. Possui prédios,

ruas, serviços comerciais, serviço médico, áreas esportivas e áreas verdes. As ruas são utilizadas para locomoção de pedestres, mas, eventualmente circulam carros convencionais e carros elétricos para serviços de limpeza ou transporte de pessoas.

Pesquisadores da universidade utilizam este espaço para pesquisas de diversas naturezas como conforto ambiental, questões climáticas, poluentes atmosféricos, fluxo de pessoas, entre outros.

A concepção da plataforma permite criar facilidades para a implantação dos experimentos em uma arquitetura integrada, supervisionada por pesquisadores das áreas de computação e engenharia. Além disso, os dados dos projetos são mantidos em um *datalake*, no qual é possível enriquecer *datasets* de um projeto com dados de outro projeto para avaliar ocorrências no mesmo tempo/espaço como já ocorre nos projetos ativos na plataforma.

Nesta perspectiva, os produtos em estágio MVP podem evoluir para atender *Smart Cities* reais. Contudo, os requisitos não funcionais devem ser observados em todas as etapas do processo de desenvolvimento de aplicações computacionais. No cenário apresentado, observa-se que, embora os requisitos não funcionais (RNF) sejam estabelecidos nas fases iniciais dos projetos, o ambiente experimental dos *Living Labs* pode ser insuficiente para uma avaliação plena desses requisitos.

A infraestrutura de nuvem pode ser determinante para escalabilidade, mas alguns desafios dos RNF podem ser preponderantes quando escalamos dispositivos físicos como sensores e equipamentos de conectividade. Autores sugerem o uso de catálogos para ajudar na elicitação e especificação de RNF [6], mas a validação permanece em aberto.

Outro ponto a ser destacado está na questão da sustentabilidade dos projetos. RNF podem impactar em questões econômicas, ambientais e tecnológicas.

Sendo assim, os produtos são testados do ponto de vista funcional, mas as condições propostas podem ser insuficientes para gerar comprovação dos RNF. Ademais, no contexto de *Smart Cities*, outros requisitos não funcionais podem ser importantes de serem analisados, como destacado em Barbosa, Malcher e Dos Santos [7].

IV. CONCLUSÃO

A integração de dados de estudos sobre cidades inteligentes e sustentáveis pode ajudar a identificar as soluções mais adequadas para cada contexto urbano. A Plataforma de *Living Lab* apresentada neste trabalho tem proporcionado facilidades para pesquisadores no sentido de experimentar MVPs em ambientes de menor escala, de modo integrado, em regime de compartilhamento de recursos, inclusive, permitindo enriquecimento de *datasets* a partir de dados de projetos já existentes na plataforma.

A plataforma conta com três VMs (LLPs). Nas LLPs públicas, Apps e Prod, há um balanceamento das aplicações implantadas e usadas no campus universitário. Na LLP Dev, privada, ocorre o desenvolvimento e testes das aplicações em construção, além de ser um espelho para as duas outras VMs.

Considerando o problema de pesquisa e a implantação no campus universitário da plataforma digital para *Living Labs* com ferramentas *open source*, é possível inferir que ela tem potencial para prover os subsídios dos atributos de qualidade aqui destacados. Porém, questões de RNF das aplicações ainda são desafios para a validação em ambientes experimentais, que carecem de estudos mais amplos, na perspectiva da efetividade das provas de conceito em *Living Labs*.

REFERÊNCIAS

- [1] BOUZGUENDA, Islam; ALALOUCHE, Chaham; FAVA, Nadia. Towards smart sustainable cities: A review of the role digital citizen participation could play in advancing social sustainability, *Sustainable Cities and Society*, Volume 50, 2019, 101627, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101627>.
- [2] AKANDE, Adeoluwa; CABRAL, Pedro; CASTELEYN, Sven. Understanding the sharing economy and its implication on sustainability in smart cities, *Journal of Cleaner Production*, Volume 277, 2020,124077, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124077>.
- [3] BUSSADOR, Alessandra; ZARA, Katya Regina de Freitas; PADILHA, Janine Carvalho. Relações entre Estratégias e Serviços Públicos em Cidades Inteligentes: caso de Foz do Iguaçu. *Latino Ware*, 2021.
- [4] WEISS, Marcos Cesar; BERNARDES, Roberto Carlos; CONSONI, Flavia Luciane. Cidades inteligentes: casos e perspectivas para as cidades brasileiras. *Revista tecnológica da Fatec americana*, v. 5, n. 1, p. 01-13, 2017.
- [5] EUROPEAN COMMISSION. The European Commission's Intelligent Cities Challenge. Disponível em: <https://www.intelligentcitieschallenge.eu/icc-library>. Acesso em: 24/05/2024.
- [6] BRITO, Isabel Sofia; MOREIRA, Ana; ARAUJO, João. Handling Nonfunctional requirements for Smart Cities. *CIBSE 2020*. Disponível em < https://cibse2020.ppgia.pucpr.br/images/artigos/9/S09_P2.pdf>. Acesso em: 25/08/2024.
- [7] BARBOSA, Alexandre Pires; MALCHER, Paulo; DOS SANTOS, Rodrigo Pereira. ReQSI-CI: Um Catálogo de Requisitos Não-Funcionais para Sistemas de Informação em Cidades Inteligentes sob a Perspectiva de Ecossistemas Digitais. In: WER. 2023.