

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

Lucas Mellos Carlos

**PROPOSTA DE ARQUITETURA PARA LABORATÓRIOS MÓVEIS  
BASEADA NO PARADIGMA DE DISPOSITIVOS INTELIGENTES**

Araranguá

2017



Lucas Mellos Carlos

**PROPOSTA DE ARQUITETURA PARA LABORATÓRIOS MÓVEIS  
BASEADA NO PARADIGMA DE DISPOSITIVOS INTELIGENTES**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Bacharelado em Tecnologias da Informação e Comunicação para a obtenção do Grau de Bacharel em Tecnologias da Informação e Comunicação.

Orientador: Prof. Dr. Juarez Bento da Silva

Araranguá

2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Mellos Carlos, Lucas

Proposta de arquitetura para laboratórios móveis  
baseada no paradigma de dispositivos inteligentes /  
Lucas Mellos Carlos ; orientador, Juarez Bento da  
Silva, 2017.

82 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Araranguá, Graduação em Tecnologias da Informação e  
Comunicação, Araranguá, 2017.

Inclui referências.

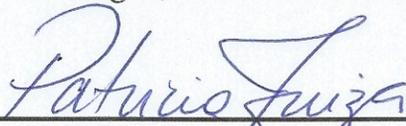
1. Tecnologias da Informação e Comunicação. 2.  
Sistemas de Informação. 3. Laboratórios Online. 4.  
Laboratórios Híbridos. 5. Tecnologias Educacionais.  
I. da Silva, Juarez Bento. II. Universidade Federal  
de Santa Catarina. Graduação em Tecnologias da  
Informação e Comunicação. III. Título.

Lucas Mellos Carlos

**PROPOSTA DE ARQUITETURA PARA LABORATÓRIOS MÓVEIS  
BASEADA NO PARADIGMA DE DISPOSITIVOS INTELIGENTES**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado aprovado para a obtenção do Título de “Bacharel em Tecnologias da Informação e Comunicação”, e aprovado em sua forma final pelo Bacharelado em Tecnologias da Informação e Comunicação.

Araranguá, 28 de novembro 2017.



---

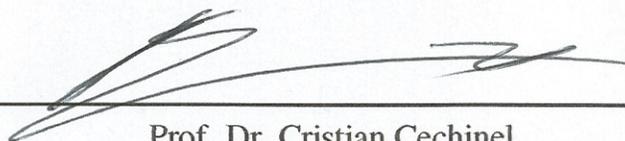
Prof. Dra. Patricia Jantsch Fiuza  
Coordenadora

**Banca Examinadora:**



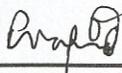
---

Prof. Dr. Juarez Bento da Silva  
Orientador



---

Prof. Dr. Cristian Cechinel  
Membro



---

Prof. Dr. Paulo Manoel Mafra  
Membro



Este trabalho é dedicado a minha família e aos meus amigos que me apoiaram nesta jornada.



## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a minha família por darem todo o suporte para que a realização da carreira de graduação se tornasse uma realidade.

Aos amigos por me apoiarem nos bons e maus momentos.

Ao meu orientador e coordenador do RExLab, Prof. Dr. Juarez Bento da Silva, bem como aos colegas que auxiliaram para que o desenvolvimento e conclusão deste trabalho se tornasse uma realidade.

Ao CNPq por fomentar o desenvolvimento de minha pesquisa ao longo do curso através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).



Cada sonho que você deixa pra trás, é um pedaço  
do seu futuro que deixa de existir...

(Steve Jobs)



## RESUMO

O advento das TIC fez acender uma série de discussões no mundo das tecnologias educacionais, novas tecnologias surgiram para corroborar no processo de ensino-aprendizagem, dentre estas surge os laboratórios online. Dos laboratórios online, emerge-se o uso de laboratórios híbridos, uma junção entre um laboratório remoto e um laboratório físico. Tendo o destaque por ser um tipo de laboratório que possui um grande potencial de vanguarda, sendo este objeto de diferentes estudos na área da tecnologia. Desta forma, o processo de análise do ensino passa pela avaliação do resultado das práticas que ultrapassem as barreiras geográficas do ambiente escolar em que vivem aluno e professor. No entanto, tal tecnologia encontra-se ainda pouco discutida na literatura, porém o advento de IoT traz uma forte tendência que aponta cada vez mais para a utilização de dispositivos inteligentes e ambientes colaborativos com interfaces de usuário personalizadas em educação.

**Palavras-chave:** TIC. laboratórios híbridos. dispositivos inteligentes.



## ABSTRACT

The advent of ICT has made a series of discussions in the world of educational technologies, new technologies have emerged to corroborate to teaching-learning process, among these arises online labs. From online laboratories, emerges the use of hybrid laboratories, a junction between a remote laboratory and a physical laboratory. Having the distinction for being a type of laboratory that has a great potential of vanguard, being this object of different studies in the area of technology. In this way, the process of analysis of education passes through the evaluation of the result of the practices that surpass geographical barriers of the school environment in which the student and teacher live. However, such technology is still little discussed in the literature, but the advent of IoT brings a strong tendency that increasingly points to a use of intelligent devices and collaborative environments with personalized user interfaces in education.

**Keywords:** ICT. hybrid laboratories. smart devices.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Classificação dos tipos de laboratórios. Fonte: Zutin et al. (2010).	30
Figura 2	Modelo genérico de arquitetura para laboratório remoto. Fonte: Tawfik et al. (2015).	31
Figura 3	Exemplo de laboratório virtual - <i>Circuit Simulator</i> .	33
Figura 4	Exemplo de um diagrama de atividades de um laboratório híbrido. Fonte: Callaghan et al. (2013).	35
Figura 5	WebLab-Deusto arquitetura. Fonte: Orduña et al. (2014).	36
Figura 6	<i>Gateway4labs</i> arquitetura. Fonte: Orduña et al. (2014).	37
Figura 7	iLab - arquitetura em <i>batch</i> . Fonte: Harward et al. (2008).	38
Figura 8	ISB iLab - arquitetura interativa. Fonte: Harward et al. (2008).	39
Figura 9	Arquitetura do RELLE.	40
Figura 10	Exemplo de aplicação do RELLE-LIS. Fonte: Autor.	41
Figura 11	Aplicação do paradigma de <i>smart device</i> RELLE-LIS. Fonte: Lima (2016).	44
Figura 12	Diagrama de etapas da pesquisa. Fonte: Autor.	48
Figura 13	Query de revisão gerada. Fonte: Autor.	48
Figura 14	Arquitetura desenvolvida.	53
Figura 15	Diagrama de caso de uso da arquitetura desenvolvida. Fonte: Autor.	54
Figura 16	Esquemático do laboratório móvel desenvolvido. Fonte: Autor.	55
Figura 17	Diagrama de sequência na busca pelo dados dos sensores. Fonte: Autor.	56
Figura 18	Diagrama de sequência da arquitetura desenvolvida na visão do <i>gateway</i> . Fonte: Autor.	57
Figura 19	Diagrama de fluxo para interação com um colaboratório genérico. Fonte: Autor.	59
Figura 20	Diagrama de fluxo para interação com um colaboratório baseado em projeto. Fonte: Autor.	59
Figura 21	Exemplo de arquivo descritor. Fonte: Autor.	62
Figura 22	Diagrama de casos de uso para uso da aplicação Lab@Home. Fonte: Autor.	63
Figura 23	Exemplo de integração com dispositivos inteligentes realizada.	

Fonte: Autor.....	65
Figura 24 Análise: UI Descriptor x método <i>getSensorData</i> . Fonte: Autor.....	66
Figura 25 Piloto de laboratório móvel desenvolvido. Fonte: Autor. ....	67
Figura 26 Funcionamento de um colaboratório. Fonte: Autor. ....	68
Figura 27 Colaboratório baseado em projeto. Fonte: Autor.....	68
Figura 28 Projeção da quantidades de instâncias por número de usuário. Fonte: Autor.....	70

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Descrição de um arquivo UI Composition. ....	62
Quadro 2	Requisitos de escalabilidade para laboratórios massivos. Fonte: Adaptado de Lowe (2014). ....	69



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RLMS	Remote Lab Management System
GT-MRE	Grupo de Trabalho em Experimentação Remota Móvel
RExLab	Remote Experimentation Laboratory
LM	Laboratório Móvel
IoT	Internet of Things
M-Learning	Mobile Learning
MRE	Mobile Remote Experimentation
MIT	Massachusetts Institute of Technology
ISA	iLab Shared Architecture
ISB	Interactive Service Broker
ITS	Interactive Lab Server
RELLE	Remote Lab Learning Environment
AVA	Ambientes Virtuais de Aprendizagem
LIS	RELLE - Labs Instances Scheduling
PAC	Placa de Aquisição e Controle
API	Application Programming Interfaces
SBC	<i>Single Board Computer</i>



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	23
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	24
1.2	JUSTIFICATIVA .....	25
1.3	PERGUNTA DE PESQUISA .....	26
1.4	OBJETIVOS .....	27
<b>1.4.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	27
<b>1.4.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	27
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	28
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	29
2.1	LABORATÓRIOS ONLINE .....	29
<b>2.1.1</b>	<b>LABORATÓRIOS REMOTOS</b> .....	29
<b>2.1.2</b>	<b>Laboratórios Virtuais</b> .....	32
<b>2.1.3</b>	<b>Laboratórios Híbridos</b> .....	33
2.2	AMBIENTES DE GERENCIAMENTO E ARQUITETURAS DE LABORATÓRIOS REMOTOS .....	34
<b>2.2.1</b>	<b>WebLab-Deusto e LabsLand</b> .....	36
<b>2.2.2</b>	<b>iLab Shared Architecture</b> .....	38
<b>2.2.3</b>	<b>RELLE</b> .....	39
2.3	AMBIENTES COLABORATIVOS ONLINE .....	41
2.4	DISPOSITIVOS INTELIGENTES .....	42
2.5	LABORATÓRIOS <i>HANDS-ON</i> .....	43
2.6	LABORATÓRIOS VIRTUAIS VS. REMOTOS VS. <i>HANDS-ON</i> .....	43
2.7	PADRONIZAÇÕES E TRABALHOS EM DESENVOLVIMEN- TO .....	45
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	47
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	47
3.2	ETAPAS DA PESQUISA .....	47
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	51
4.1	ARQUITETURA DESENVOLVIDA .....	51
<b>4.1.1</b>	<b>Tecnologias utilizadas</b> .....	52
4.2	LABORATÓRIO MÓVEL .....	54
4.3	SERVIÇO DE <i>GATEWAY</i> .....	56
4.4	LAB@HOME: AMBIENTE COLABORATIVO ONLINE ....	58
4.5	INTEGRAÇÃO COM DISPOSITIVOS INTELIGENTES ....	60
<b>4.5.1</b>	<b>Modelo de definição de dados</b> .....	60
4.5.1.1	Formato de utilização dos dados .....	63

4.6	TESTES E AVALIAÇÃO.....	66
4.6.1	<b>Análise de escalabilidade da solução</b> .....	69
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	73
5.1	TRABALHOS FUTUROS .....	74
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	75

# 1 INTRODUÇÃO

Laboratórios online permitem a introdução de práticas laborais mesmo que mediadas à distância, deste modo o emprego deste tipo de laboratório possui um fator reparador de falhas quando aplicado em locais com uma concentração de problemas infraestruturais agregado nas instituições de ensino. Alexandre et al. (2014) aponta critérios de conectividade através de smartphones e tablets como uma alternativa ao acesso as ferramentas de ensino de modo a contornar os problemas relacionados a infraestrutura das instituições.

Gustavsson et al. (2009) destaca a relevância do uso de laboratórios remotos na educação, de modo que estes não tem como objetivo central a substituição de laboratório presenciais, conhecidos como *hands-on*, Simão et al. (2016) apresenta uma discussão aonde laboratórios remotos passam a agregar na compreensão de conteúdos que são de difícil compreensão em sala de aula.

Desde o seu surgimento em meados dos anos 90, novos elementos foram agregados em práticas envolvendo laboratórios remotos, os laboratórios passaram a incorporar novas tecnologias com o advento da Web 2.0 (GILLET et al., 2008), sendo hospedado em RLMS (Remote Lab Management Systems) (ZUTIN; MUJKANOVIC; AUER, 2014), da evolução dos laboratórios aos sistemas de gerenciamento originaram-se modelos de federações de laboratórios remotos aonde os laboratórios passam a compor diferentes RLMS a partir de um modelo distribuído de compartilhamento de recursos.

Dentre os projetos em destaque em laboratórios online, pode-se destacar o projeto GT-MRE (Grupo de Trabalho em Experimentação Remota Móvel)<sup>1</sup> desenvolvido pelo RExLab (Remote Experimentation Laboratory)<sup>2</sup> no Brasil (SILVA; BILESSIMO; SILVA, 2016), o projeto WebLab-Deusto<sup>3</sup> na Espanha (GARCIA-ZUBIA et al., 2006), projeto iLab<sup>4</sup> desenvolvido nos EUA (HARWARD et al., 2008), o consórcio LabShare<sup>5</sup> na Austrália (LOWE et al., 2011), dentre outros.

A partir de sua concepção, laboratórios online englobam uma série de fatores incorporados a si que dizem a respeito da sua capacidade de provimento de serviço, aliando fatores como interoperabilidade, qualidade, e capacidade de expansibilidade oriundos de sua natureza distinta, sendo: remotos,

---

<sup>1</sup><http://gt-mre.ufsc.br>

<sup>2</sup><http://rexlab.ufsc.br/>

<sup>3</sup><http://weblab.deusto.es>

<sup>4</sup><http://ilab.mit.edu/wiki/>

<sup>5</sup><http://www.labshare.edu.au/>

virtuais e híbridos (ORDUÑA et al., 2015). Ainda agregam-se a esses a sua versatilidade em possuírem aplicações que utilizam-se de um grande grau de empregabilidade de utilização entrecapando aos diferentes níveis de ensino, sendo exploradas desde a educação básica até o ensino superior empregando diferentes estilos de abordagens a um mesmo laboratório (BLÁZQUEZ; CASTRO; ZUBÍA, 2016; CARLOS et al., 2016).

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Nerguizian et al. (2012) aponta o alto custo de aquisição, espaço e mantimento de um laboratório físico como um dos fatores adversos do uso de laboratórios presenciais, mesmo estes sendo essenciais em currículos de cursos de áreas correlatas as engenharias.

Deste modo, laboratórios online permitem que estudantes tornem-se autônomos na criação de novas ideias, ainda permitindo que professores possam ter um acompanhamento mais significativo das dificuldades encontradas pelos estudantes no desenvolvimento de suas práticas através de métodos analíticos.

Ao considerar a forma de interação com os diferentes tipos de laboratórios tem-se que os Laboratórios Móveis (LMs) estão mais próximos da realidade cotidiana pelo fato do usuário estar lidando com os componentes de forma tátil.

A crescente busca por recursos educacionais do tipo laboratórios online acendeu uma série de discussões sobre fatores relacionados no mundo das tecnologias educacionais, como por exemplo, as formas de provimento do serviço.

Fatores relacionados a escalabilidade de soluções de laboratórios online e *hands-on* passaram a serem discutidas recentemente, desta forma. Em pesquisa realizada por Lowe (2014) o autor afirma ser preciso identificar os tipos de laboratórios online afim de analisar seus requisitos de escalabilidade para averiguar sua capacidade de provimento de serviço.

Voltando-se à criação de tecnologias para laboratórios móveis, tem-se que esta possui seu desenvolvimento muito pouco discutido e bastante reduzido se comparado com os tradicionais laboratórios remotos (NERGUIZIAN et al., 2012), deste modo, o desenvolvimento de laboratórios móveis desponta-se como uma área emergente em laboratórios online.

As recentes pesquisas em *Internet of Things* (IoT) destinam-se em cada vez mais apontar melhores arquiteturas e maneiras de conectar cada vez mais dispositivos computacionais através da web, estes possuem grande parte dos trabalhos registrados até então, aliando-se a fatores de experimentação

remota na concepção de uma infraestrutura ideal para comunicação e compartilhamento de laboratórios remotos em rede (KALÚZ et al., 2015; MENDES et al., 2016; ORDUÑA et al., 2012).

Mhiri et al. (2013) apresenta pontos de vista tidos como desafios a serem superados no desenvolvimento de laboratórios móveis, destes tem-se: (a) aprendizagem sem limites; (b) trazer a indústria para o laboratório e o laboratório para a sala de aula; e (c) monitorar as atividades do estudante.

Considerando o atual panorama de desenvolvimento tecnológico para laboratórios online, tem-se um grande desenvolvimento em áreas relacionadas a concepção de novos laboratórios e arquiteturas para sua automação. Em trabalhos realizados por Antonio et al. (2015) e García-Zubía et al. (2015) os autores apresentam o desenvolvimento de laboratórios remotos baseados em modelos modulares, onde destaca-se a sua arquitetura, podendo esta estar relacionada com um modelo híbrido.

Autores como Orduña et al. (2015) e Harward et al. (2008) descrevem uma abordagem mais aprofundada na forma de distribuição de laboratórios através de um modelo baseado em federações, este já considerando a vasta heterogeneidade de sistemas e sua dificuldade de integrar o recursos disponíveis em diferentes plataformas.

Alguns autores como Rodriguez-Gil et al. (2017) e Callaghan et al. (2013) propõem modelos híbridos que unem laboratórios de natureza remota e virtual com diferentes tecnologias, entretanto modelos de laboratórios móveis que unem *hands-on* e remoto ainda não encontram-se amplamente explorados.

Desta forma, um projetista de aplicações para laboratórios móveis deve se preocupar com requisitos para interação do usuário com a aplicação, considerando todos os seus elementos que farão a conexão entre usuários e aplicações de modo a operar transparentemente a qualquer usuário da aplicação, haja vista o desafio de conectar um usuário cliente provedor da experiência com outros usuários - também cliente - que consumirá da prática resultante.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Apoiado pela visão de autores como Nickerson et al. (2007) que busca caracterizar laboratórios remotos como **inclusivos**, podendo estes serem apropriados para estudantes que necessitam de um estilo de aprendizagem mais visual.

O uso de laboratórios móveis surge como uma nova vertente em ambientes oriundos de laboratórios online, de modo que este passa a agregar em práticas laboratoriais ofertando características próprias, como por exemplo, a

oportunidade de um usuário poder desenvolver sua própria prática manuseando componentes reais e passar a colaborar com os valores resultantes em um ambiente colaborativo online, de forma que disponibilize seus recursos a outros usuários como colegas e professores para que estes também possam manipular e comprovar a experiência.

Assim, o REXLab que teve seu surgimento em 1997, atualmente encontra-se na terceira fase do projeto GT-MRE. O REXLab iniciou as atividades do projeto em 2014 com o intuito de desenvolver uma arquitetura para laboratórios remotos e teve seu desenvolvimento tecnológico expandido, no entanto o modelo de laboratórios online de natureza remota possui limitações relacionadas a interação física, como por exemplo o fato de um aluno não poder manusear um equipamento com suas próprias mãos.

De outro modo, evidenciou-se novas preocupações ligadas ao desenvolvimento tecnológico que diz respeito da escalabilidade de laboratórios remotos em paralelo com a oportunidade de expandir a utilidade dos laboratórios *hands-on* para além do momento presencial de uma aula convencional. Assim, tem-se o desafio da elaboração de um modelo híbrido e móvel que una diferentes elementos e contribua para o desenvolvimento de um modelo escalável de laboratórios online colaborativos.

Trabalhos relacionados indiretamente encontra-se disponíveis no campo de construção de arquiteturas para laboratórios virtuais ou remotos (TAWFIK et al., 2013; LOWE et al., 2011; HARWARD et al., 2008; LIMA, 2016). Trabalhos iniciais relacionados a laboratórios móveis foram descritos por Nerguizian et al. (2012), porém ainda sem nenhuma estratégia de utilização em massa ou até mesmo sistema que defina protocolos de comunicação entre os agentes e arquiteturas descritas.

Seguindo requisitos apontados por autores como Mhiri et al. (2013) que afirmam que além de promover um ambiente matematicamente escalável, é necessário desenvolver uma interface para manipulação para o usuário, de modo que sua experiência prática será a responsável por transmitir o conhecimento adquirido por este.

Logo, verificou-se a escassa existência de trabalhos relacionados no campo de arquitetura para laboratórios móveis, bem como a falta de padrões que regulamentam atividades de criações deste tipo.

### 1.3 PERGUNTA DE PESQUISA

Considerando os problemas enfrentados pela falta de trabalhos relacionados na área, falta de padronização e as limitações do usuário que se aliam a dificuldade do desenvolvimento de um modelo escalável, define-se a

seguinte pergunta de pesquisa:

*Quais os desafios da associação de elementos de laboratórios remotos e hands-on na concepção de uma arquitetura de laboratórios híbridos?*

## 1.4 OBJETIVOS

A presente seção se destinará a descrever os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

### 1.4.1 Objetivo Geral

Baseado na pergunta de pesquisa, formulou-se o seguinte objetivo geral:

*Desenvolver uma proposta de arquitetura para laboratórios móveis baseado no paradigma de dispositivos inteligentes.*

### 1.4.2 Objetivos Específicos

Considerando o objetivo geral deste trabalho e os desafios encontrados, elaborou-se os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os elementos presentes em diferentes arquiteturas de laboratórios remotos;
- Projetar um ambiente colaborativo online para interação entre os usuários e laboratórios;
- Estabelecer uma proposta de modelo de metadados em ambientes colaborativos online que comuniquem-se com laboratórios móveis através da proposta de modelo UI Composition;
- Desenvolver um *smart gateway* para interconexão de laboratórios móveis com um ambiente colaborativo online;
- Analisar a escalabilidade da solução proposta em comparação com laboratórios online de natureza remota.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho define-se baseado em 5 seções, das quais conta-se esta introdução.

A Seção 2 irá abarcar o referencial teórico que alicerça este trabalho, elencando as tecnologias utilizadas e seu histórico junto aos temas relacionados às padronizações já existentes e suas carências, apontando os trabalhos mais relevantes dentro do campo de pesquisa desse trabalho.

A Seção 3 descreverá a metodologia empregada para o desenvolvimento deste trabalho, buscando descrever seus 4 passos principais que levaram a integralização deste trabalho.

Já a Seção 4 detalhará o processo de desenvolvimento deste trabalho em si, definindo as formas de emprego das tecnologias com vistas a cumprir os objetivos deste trabalho, relatando o formato de arquitetura alcançado ao fim desta pesquisa junto aos requisitos coletados nas fases anteriores.

Por fim, a Seção 5 irá descrever as conclusões que foram possíveis levantar com os resultados obtidos durante o processo de desenvolvimento considerando a arquitetura resultante e ainda acrescenta-se tópicos para possíveis desenvolvimentos futuros dentro de um macro escopo do projeto.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo se destinará a descrever uma revisão bibliográfica sobre o tema apresentado por este trabalho considerando alguns dos trabalhos provenientes da Etapa 1 da metodologia deste trabalho, apresentada no capítulo 3.

### 2.1 LABORATÓRIOS ONLINE

Os laboratórios online apresentam um ambiente onde são capazes de transformar o coeficiente educacional, assim propondo a ruptura aos problemas associados a atividades teóricas e práticas (MUJKANOVIC et al., 2015).

Os laboratórios online podem se tornar uma poderosa ferramenta de ensino ao propiciar que atividades práticas seja realizadas repetidas vezes.

No início dos anos 2000 novas visões foram sendo agregadas a aprendizagem utilizando laboratórios online. Neste advento surgiram novos termos como *M-Learning (Mobile Learning)* e *MRE (Mobile Remote Experimentation)*.

Da sua adesão, surgem desafios no contexto de cursos aplicados às áreas de engenharias, em promover o ambiente mais real possível, assim os laboratórios online se subdividem em três tipos, que segundo Balamuralithara e Woods (2009), Zutin et al. (2010) são:

- Remotos
- Virtuais
- Híbridos

A Figura 1 exibe a classificação desses laboratórios quanto a seu ambiente de estadia e sua forma de utilização.

#### 2.1.1 LABORATÓRIOS REMOTOS

Os primeiros laboratórios remotos tiveram sua origem no ano de 1996 nos EUA desenvolvidos por Aktan et al. (1996). Logo após, em 1997 o REX-Lab construiu seu primeiro laboratório remoto, um *debugger* para microcontrolador 8051 controlado via Internet.

Laboratórios remotos se caracterizam como um conjunto de hardware que passa por um processo de automatização em uma arquitetura específica de

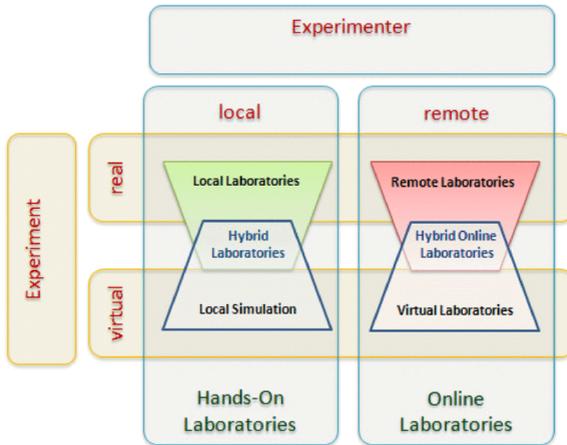


Figura 1: Classificação dos tipos de laboratórios. Fonte: Zutin et al. (2010).

software para permitir o acesso de estudantes de qualquer lugar e a qualquer hora através da Internet (ORDUÑA et al., 2016; GUSTAVSSON, 2002).

Os mesmos são denotados pela oportunidade de promover a realização de práticas laboratoriais em um aparato real, porém mediado à distância através da Internet, onde permite-se ao seu usuário utilizador configurar parâmetros de entrada (*input*), para obter um determinado valor, combinação ou observação como resultado de saída (*output*) de sua prática. Torre, Sánchez e Dormido (2016) apresentam um panorama atual do uso de laboratórios remotos na educação, onde o advento da IoT está permitindo o acesso mais diversificado e em maior escala a oportunidades tecnológicas.

Tal modelo de laboratórios encontra-se inserido em meio a uma arquitetura de hardware e software, que compõem diferentes fatores de acesso aos laboratórios. Ao relacionar as diferentes arquiteturas de acesso aos laboratórios remotos pode-se destacar a adoção da sua arquitetura conforme a sua finalidade de uso.

Tawfik et al. (2015) define fatores críticos no desenho de arquiteturas para laboratórios remotos. Dentre os elementos citados, aponta-se uma separação entre os fatores cruciais para componentes de hardware e software, o mesmo autor ainda apresenta o que seria um modelo genérico de laboratório remoto, conforme a Figura 2, dividindo a mesma em três camadas: (1) consumidores do laboratório, (2) provedores de laboratório e (3) equipamento físico.

A adoção de uma arquitetura modular faz com que critérios sejam estabelecidos em específico para cada uma das camadas, sendo que para os

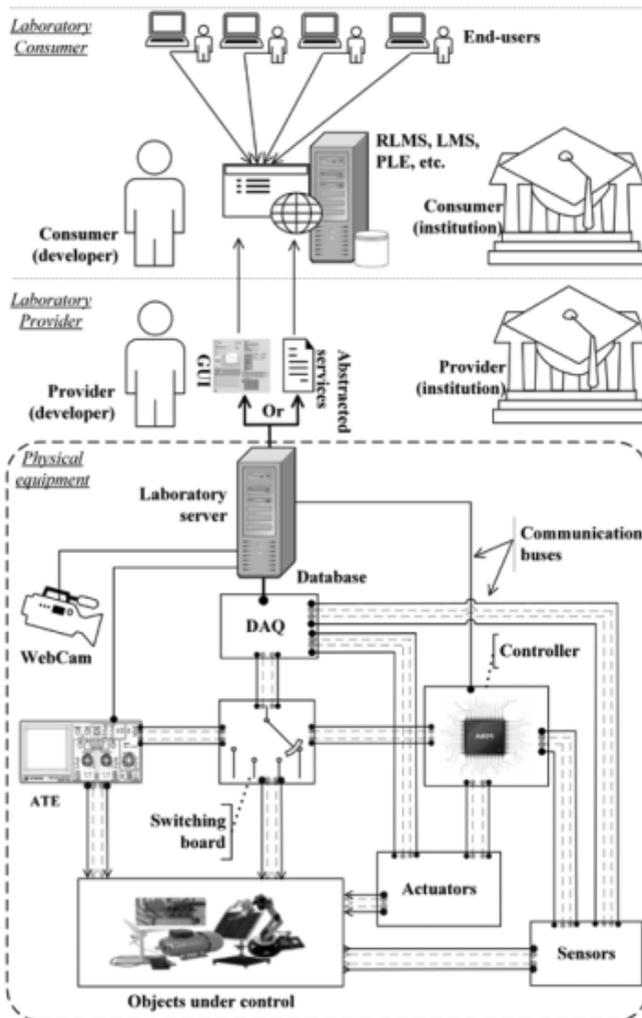


Figura 2: Modelo genérico de arquitetura para laboratório remoto. Fonte: Tawfik et al. (2015).

critérios de hardware define-se os seguintes aspectos como cruciais:

1. **Performance:** Capacidade de tempo de processamento e tempo de resposta entre as ações;
2. **Reusabilidade:** Envolve a necessidade efetiva de troca de componentes e em poder rearranjar os mesmos em dadas práticas;
3. **Controle configurável:** Controle para troca de parâmetros em experiências que exijam mais que simples mensuração;
4. **Segurança em aplicações de alta tensão:** Permitir que casos definidos como errôneos pelo usuário não danifiquem o equipamento;
5. **Flexibilidade de Manipulação:** Capacidade de o laboratório se auto-arranjar para uma dada prática do usuário.

Já para os componentes de software o mesmo autor define três fatores, os quais tem-se:

1. **Software servidor do laboratório:** Componente responsável por realizar a ligação entre as camadas do cliente e o laboratório remoto;
2. **Formato de entrega:** Formato com que os usuários terão o seu laboratório disponível, se terão acesso a determinadas funcionalidades ou não;
3. **Tecnologias de Interface Gráfica de Usuário:** Formato com que tais peças são responsáveis pela exibição das informações ao usuário final.

### 2.1.2 Laboratórios Virtuais

Os laboratórios virtuais já eram discutidos no Século XX, quando autores como Mosterman et al. (1994) propunham o uso de laboratórios virtuais em cursos de engenharias visando oferecer conhecimento introdutórios a disciplinas práticas, este tipo de laboratório está comumente atrelado a simulações de um laboratório *hands-on*.

Seu alto valor no ensino introdutório de conteúdos em cursos relacionados as áreas de engenharias se da por prover uma oportunidade segura de interação com componentes e instrumentos sensíveis a falhas que exigem um conhecimento técnico prévio de manuseio, como por exemplo, resistores polarizados, multímetros, entre outros.

Pesquisas já apontam o fato de que esse tipo de laboratório pode se tornar um grande aliado no ensino, ressaltando-se que este tipo de laboratório

não é suficiente para substituir uma prática *hands-on*, sempre tomando como um recurso educacional auxiliar (GOMES; BOGOSYAN, 2009).

Simulações se evidenciam ainda pela sua forma de execução, onde comumente tem-se um dispositivo computacional capaz de processar informações e acesso a *WebServices* através de conexões com a Internet. Outro fator evidenciado pelo uso desta tecnologia se dá pela sua economia e termos de espaço físico, uma vez que são executadas em dispositivos computacionais.

Simulações ainda podem ser executadas em modelo *standlone*, quando se tem um programa computacional com todos os elementos já instalados para manipulação.

Um exemplo deste tipo de laboratório é a ferramenta Circuit Simulator<sup>1</sup>, uma ferramenta *open-source* que é capaz de prover um ambiente de simulação para diferentes tipos de circuitos elétricos e eletrônicos. A Figura 3 exibe à interface da ferramenta.

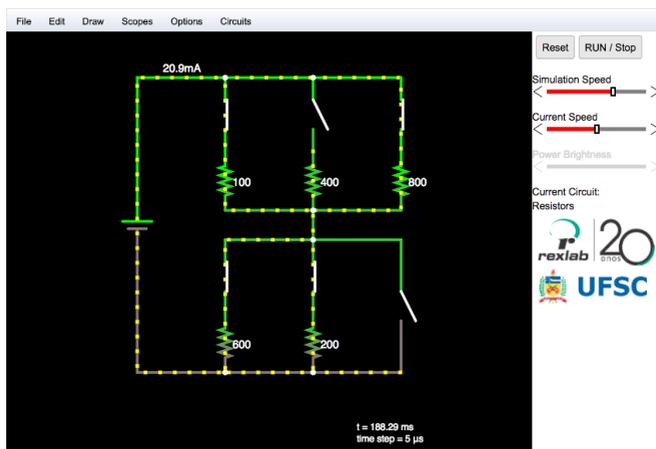


Figura 3: Exemplo de laboratório virtual - *Circuit Simulator*.

### 2.1.3 Laboratórios Híbridos

O termo laboratórios híbridos pode sofrer derivações para exprimir um mesmo objeto, dentre estas o mesmo pode ser chamado de *mixed lab*. Os laboratórios híbridos podem surgir de diferentes derivações, conforme já previamente descrito na Figura 1, sendo da união de laboratórios locais com simulação e ainda da união entre laboratórios remotos e virtuais (ZUTIN et al.,

<sup>1</sup>Página do Circuit Simulator <http://www.falstad.com/circuit/>

2010; GOMES; BOGOSYAN, 2009).

A importância deste tipo de laboratório se dá pelas diferentes formas de ensino em áreas de engenharias, fazendo com que seu caráter experimental torne-se uma poderosa ferramenta de ensino considerando os diferentes meios que se pode agregar a uma determinada tarefa experimental.

Rodriguez-Gil et al. (2017) expõe alguns tipos de laboratórios híbridos com sua base na experimentação remota e utilização de tecnologias virtuais pondo como exemplos tecnologias oriundas de mundos virtuais, realidade aumentada, podendo ainda estas tecnologias explorarem seu uso através de *games*.

Os laboratórios híbridos possuem uma característica peculiar de poder executar uma prática através de um ambiente virtual a qual não se interage diretamente com o elemento físico remoto, porém com elementos virtuais que dada uma combinação de resultados e ou fatores acionam os laboratórios remotos, ligando este modelo ao remoto e ao *hands-on*.

A Figura 4 exibe um diagrama de atividades que exemplifica o funcionamento de um laboratório híbrido que une o remoto ao virtual.

Autores como Nerguizian et al. (2012) apresentam modelos de laboratórios híbridos focados no utilização do laboratório *hands-on* com elemento de laboratórios virtuais. Este tipo de laboratório é indicado quando se deseja obter um grau de detalhes em práticas de experimentação, uma vez que a combinação de elementos práticos faz com que alguns critérios de segurança fiquem inertes ao conhecimento do estudante.

Tais práticas podem combinar uma série de elementos, como por exemplo fundamentos de *sensor network*, fator este que pode ser agregador em práticas que usem ambientes colaborativos online.

## 2.2 AMBIENTES DE GERENCIAMENTO E ARQUITETURAS DE LABORATÓRIOS REMOTOS

Os Ambientes de Gerenciamento de Laboratórios Remotos da sigla inglesa RLMS (*Remote Laboratory Management System*) são ambientes que armazenam interfaces de comunicação para laboratórios remotos e informações gerenciais a respeito de cadastro de usuários e laboratórios (ORDUÑA et al., 2016).

O desenvolvimento de um RLMS pode variar conforme o modelo de arquitetura adotada para comunicação com os laboratórios, assim novas camadas podem ser adicionadas correspondentes a filas de acesso, agendamentos, autenticação, entre outras.

As três sub-seções seguintes se darão através de uma análise de três

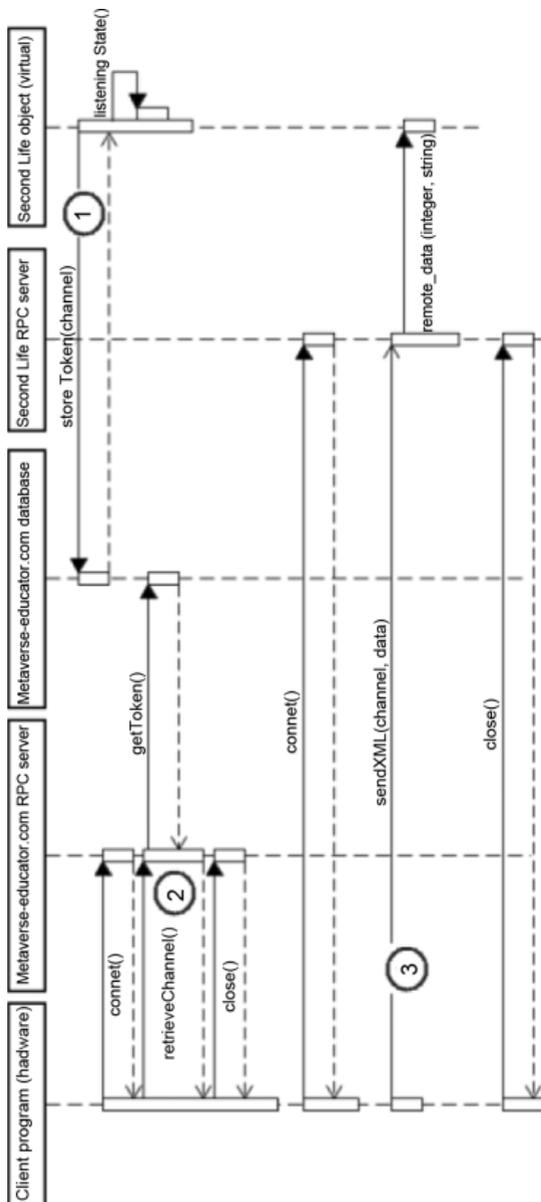


Figura 4: Exemplo de um diagrama de atividades de um laboratório híbrido.  
 Fonte: Callaghan et al. (2013).

RLMS e suas respectivas arquiteturas de disponibilização dos laboratórios remotos a qual interação.

### 2.2.1 WebLab-Deusto e LabsLand

O WebLab-Deusto<sup>2</sup> é um RLMS desenvolvido na Universidade de Deusto na Espanha, lançado em meados dos anos 2000, que como os demais sistemas de sua categoria agrega algumas funções particulares, como por exemplo um módulo para integração com o sistema *OpenLabs Electronics Laboratory*.

A Figura 5 exibe a arquitetura adotada pelo WebLab-Deusto que ampara a disponibilização de laboratórios em *rooms*, fazendo com que todas as conexões de um dado laboratório sejam enviadas ao seu servidor de laboratório em seu *room*.

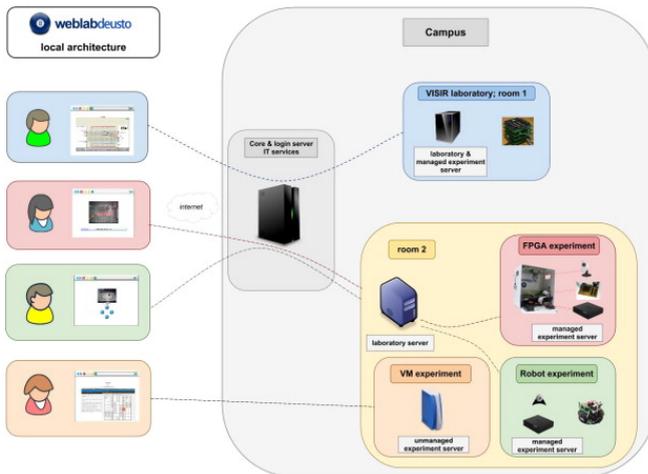


Figura 5: WebLab-Deusto arquitetura. Fonte: Orduña et al. (2014).

Outra característica deste RLMS é a funcionalidade de permitir que seus laboratórios integrem uma federação de laboratórios remotos através do *Smart Gateway*, *Gateway4labs*<sup>3</sup> (ORDUÑA et al., 2013).

O uso do *Gateway4labs* faz com que diferentes instituições tenham seus laboratórios sobre uma mesma arquitetura gerenciada pelo *gateway* criando interfaces para os mais diversos tipos de aplicações. A Figura 6 exibe a

<sup>2</sup>Página do RLMS WebLab-Deusto <http://weblab.deusto.es/>

<sup>3</sup>Página do *Gateway4labs* disponível no Github: <https://github.com/gateway4labs/>

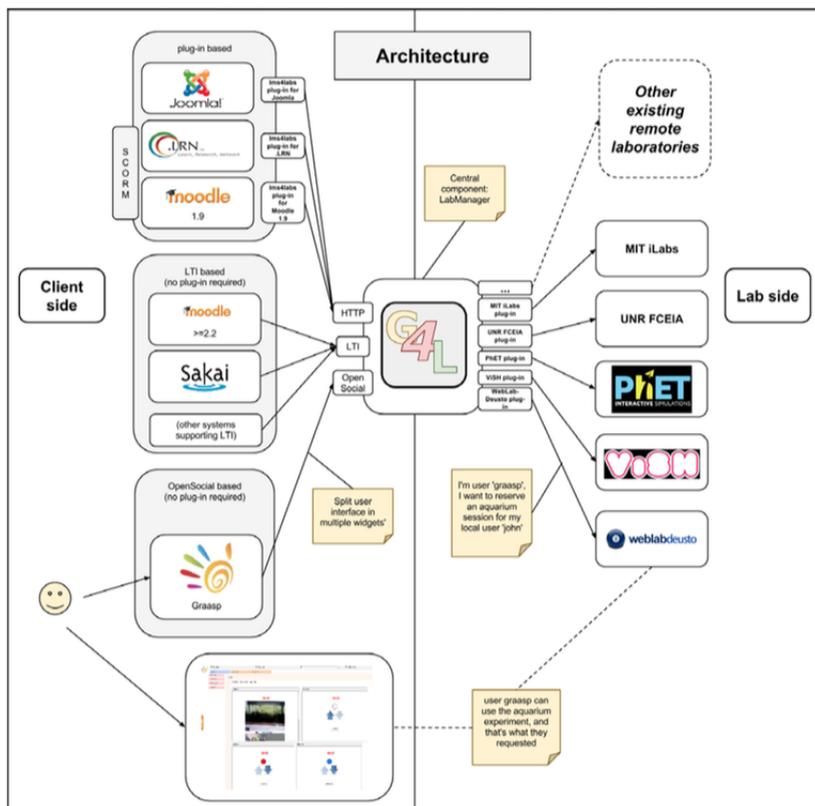
arquitetura do *Gateway4labs*.

Figura 6: *Gateway4labs* arquitetura. Fonte: Orduña et al. (2014).

O portal LabsLand é uma iniciativa de *spin-off*<sup>4</sup> do grupo de pesquisa WebLab-Deusto que propõe um modelo de negócios diferente das tradicionais iniciativas em laboratórios online, envolto em uma plataforma de compartilhamento econômico entre instituições e grupo de pesquisas, adotando uma prática de licenciamento de uso de laboratórios (ORDUÑA et al., 2016).

<sup>4</sup>O termo *spin-off* refere-se a uma empresa que deriva de alguma instituição de ensino, centro ou grupo de pesquisas.

## 2.2.2 iLab Shared Architecture

Localizado nos EUA e desenvolvido no Massachusetts Institute of Technology (MIT) o iLab Shared Architecture (ISA) possui uma arquitetura compartilhada que provém uma série de funcionalidades através do seu *framework* unificado (MENDES et al., 2016).

De acordo com Harward et al. (2008), o ISA permite a integração de laboratórios de três diferentes tipos, sendo:

- **Batch:** Laboratórios onde é possível configurar uma série de variáveis e enviar ao servidor do laboratório para que execute assim que puder;
- **Interativos:** Laboratórios em que o usuário interage em tempo real;
- **Sensores:** Laboratórios onde o usuário apenas monitora as ações em tempo real.

A Figura 7 exibe o modelo de arquitetura para comunicação com os servidores de laboratório em formato *batch*, onde todos os laboratórios necessitam estar cadastrados em cada *Service Broker*, na qual cada *broker* é responsável pelo provimento de recursos comuns como armazenamento de dados do usuário.

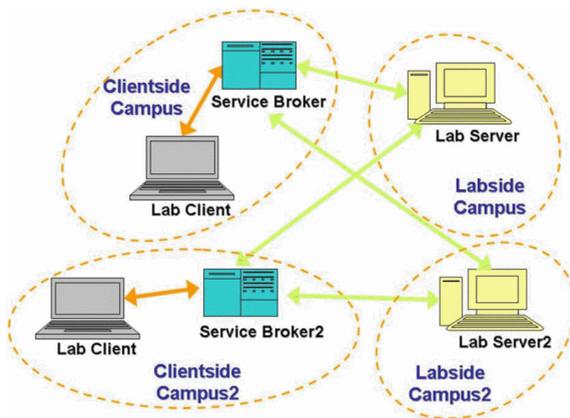


Figura 7: iLab - arquitetura em *batch*. Fonte: Harward et al. (2008).

De outro modo, a arquitetura para laboratórios interativos necessita do modelo *Interactive Service Broker* (ISB) para congregiar elementos que realizem os serviços de *scheduling*, gerenciamento do usuário, armazenamento

de logs e comunicação com os *LabServers* através do modelo *Interactive Lab Server* (ITS) (HARWARD et al., 2008; HARDISON et al., 2008). A Figura 8 exhibe como a comunicação é feita entre os elementos da arquitetura.

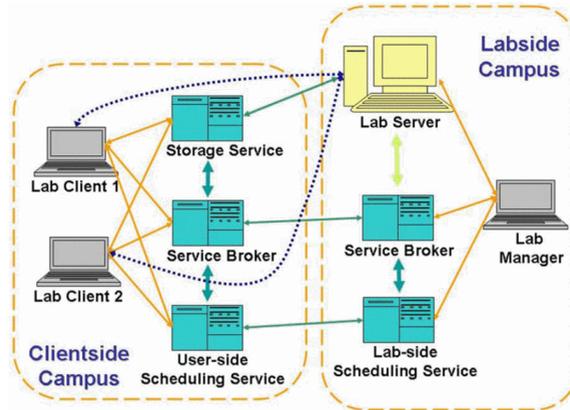


Figura 8: ISB iLab - arquitetura interativa. Fonte: Harward et al. (2008).

### 2.2.3 RELLE

O *Remote Lab Learning Environment* (RELLE) desenvolvido pelo GT-MRE no RExLab - UFSC teve sua concepção no ano de 2015 e desde então vem agregando laboratórios remotos de distintas áreas de concentração, como por exemplo: física, biologia e robótica.

Construído sob uma arquitetura genérica que encontra-se modularizada em 3 camadas, onde divide elementos de software e hardware desde a mecatrônica responsável pelo acionamento de atuadores e captação de dados até as tecnologias de interface gráfica de aplicação para o usuário final.

Localizado entre as camadas do cliente e computador embarcado, o RELLE possui desenvolvido módulos de gerenciamento de laboratórios remotos e conteúdos didáticos e técnicos relacionados a cada laboratório inserido na plataforma junto a sua integração com Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA) (SIMÃO, 2015).

A Figura 9 exhibe a arquitetura a qual o RELLE foi desenvolvido em seus três módulos RELLE (RLMS), RELLE-LIS (serviço de escalonamento) e Lab (laboratório físico).

Dentre as suas particularidades, o RELLE introduziu o conceito de instâncias, assim promovendo balanço de carga de laboratórios remotos a

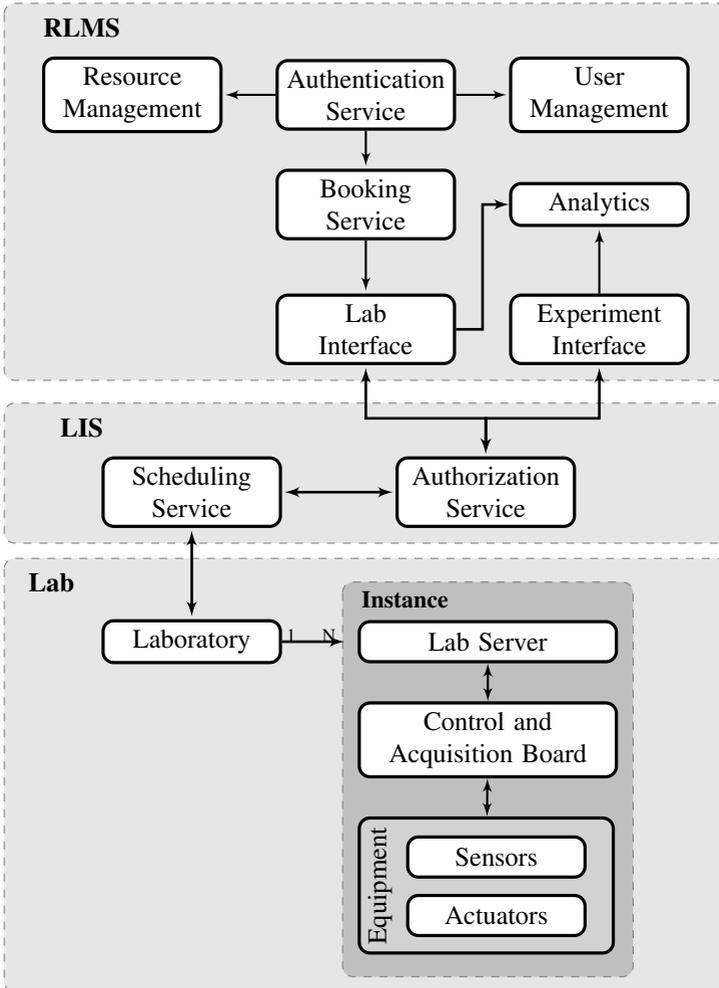


Figura 9: Arquitetura do RELLE.

nível de camada de aplicação através do módulo *RELLE - Labs Instances Scheduling* (RELLE-LIS) que permite que um usuário em espera acesse um recurso disponível em outra instância em simultâneo com outro usuário (LIMA, 2016).

A Figura 10 exibe uma aplicação da funcionalidade de instâncias em um mesmo tipo de laboratório, no exemplo o Painel Elétrico CC<sup>5</sup>.

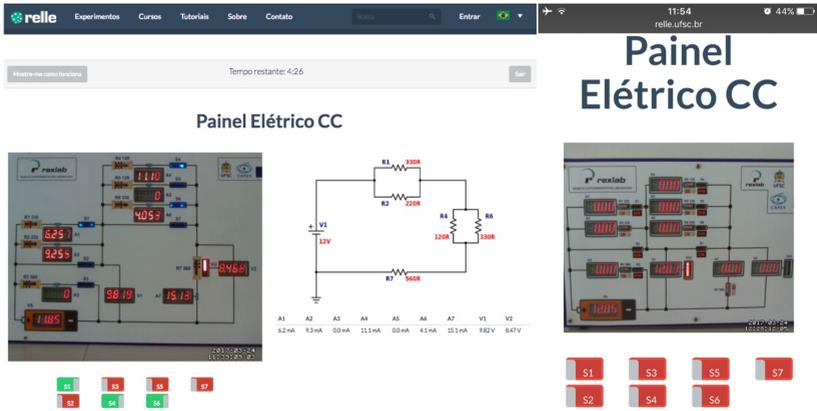


Figura 10: Exemplo de aplicação do RELLE-LIS. Fonte: Autor.

Desenvolvida para a construção dos experimentos disponibilizados no RELLE, a Placa de Aquisição e Controle (PAC) REXArm traz um modelo de baixo custo na construção de cada experimento disponível na plataforma. Equipada com um processador Arm, a placa é capaz de gerenciar mecatrônica física do experimento com seus sensores e atuadores através de comunicação serial utilizando protocolo industrial com uma SBC Raspberry Pi que se comunica com o usuário final através de protocolo *WebSocket*.

Operando através de módulos *master* (SBC) e *slave* (PAC) através do protocolo ModBus<sup>6</sup> a arquitetura do laboratório é controlada pela aplicação *LabServer* que faz com que todos os elementos da arquitetura estejam aptos para se comunicar com o laboratório físico.

### 2.3 AMBIENTES COLABORATIVOS ONLINE

Scott e Benlamri (2010) descreve o contexto tradicional dos ambientes colaborativos online, onde comumente tem-se computadores conectados

<sup>5</sup><http://relle.ufsc.br/labs/1>

<sup>6</sup>Protocolo ModBus. <http://www.modbus.org/>

a Internet e uma classe preparada para um estilo propício a leitura.

Os modelos de aprendizagem em ambientes online possuem inferência direta dos métodos de aprendizagem e de construção do conhecimento. No caso de ambientes colaborativos online sua efetividade se dá através do desenvolvimento de novidades ou funções relevantes em espaços de aprendizagem mediante ao comportamento dos envolvidos (RYU; PARSONS, 2012).

Em seu estudo Curtis e Lawson (2001) ainda descreve que é necessário analisar o comportamento do usuário para descobrir que tipo de conhecimento é compartilhado e como este é feito, via e-mail, chat ou outros.

No entanto, Macdonald (2003) afirma em sua pesquisa que estudantes só irão engajar-se neste tipo de atividade se houver algum tipo de avaliação.

Tomando escalabilidade como um requisito, tem-se que os ambientes colaborativos online permitem um acesso compartilhado de um dado objeto, tornando-o não sequencial em fila, logo o número de usuários atendidos em uma dada fração de tempo será maior que em modelos individuais.

No entanto, maior parte dos RLMSs encontram-se desenvolvidos para serem utilizados de maneira individualizada o que reduz o seu fator de escalabilidade. Outros métodos alternativos como descrito por García-Zubía et al. (2015) descrevem um modelo não interativo onde o usuário assiste a filmagens de execução do laboratório, tal fato faz com que ocorra uma diminuição ainda maior do benefício de interação do usuário com a experiência, porém este método ainda necessita de adaptação para ser utilizado de modo colaborativo.

## 2.4 DISPOSITIVOS INTELIGENTES

O conceito de dispositivos inteligentes já havia sido introduzido no início dos anos 90 em uma visão futurista com Weiser (1991), onde se prospectava dispositivos como tablets conectados através de redes sem fio já prevendo requisitos como escalabilidade e disponibilidade dos serviços.

A especificação dispositivo inteligente surgiu como uma forma de promover uma ruptura de paradigma de dispositivos nos chamados *LabServers* - aplicações responsáveis pelo interfaceamento entre o laboratório e a aplicação cliente - em laboratórios remotos, deste modo um dispositivo inteligente é capaz de se auto-apresentar para uma aplicação que lhe faz uma requisição inicial (SALZMANN et al., 2015).

São poucas as pesquisas relatadas até então que fazem o uso de dispositivos inteligentes em experimentação remota. Em pesquisas relacionadas a utilização de dispositivos inteligentes pelo projeto Go-Lab, apresentadas por Sancristobal et al. (2013, 2013) exibem sua integração com *widgets* - elemen-

tos de interface gráfica.

No Brasil, o REXLab é um dos precursores nesse campo com a pesquisa realizada por Lima (2016) onde o autor construiu um serviço de escalonamento para o RLMS RELLE - apresentado na seção 2.2.3 - que utiliza o paradigma como parte do serviço. A Figura 11 exibe um diagrama de atividades da comunicação realizada entre os agentes envolvidos.

## 2.5 LABORATÓRIOS *HANDS-ON*

Laboratórios *hands-on* são caracterizados por laboratórios físicos, onde o aluno pode manusear os equipamentos, podendo comprovar de sua experiência de maneira prática utilizando os componentes reais, porém estes necessitam de espaço físico, instrutor e principalmente de um alto custo de investimento para conseguir atender demandas em alta escala de cursos de graduação (RAMOS et al., 2016; MA; NICKERSON, 2006).

Outro fato que se dá em demasia é sua qualidade ou até mesmo existência deste tipo de laboratório. Tendo em vista que segundo dados do Censo da Educação Básica de 2016 no Brasil, apenas 9% das escolas públicas possuem laboratórios de ciências (QEDU, 2017).

Dado o fato da problemática em infraestrutura em instituições de ensino, os laboratórios online surgem como um meio de viabilizar experiências práticas, mesmo que mediado a distância. Sejam estas práticas realizadas através de laboratórios de informática ou ainda através dos próprios dispositivos móveis dos discentes.

## 2.6 LABORATÓRIOS VIRTUAIS VS. REMOTOS VS. *HANDS-ON*

Laboratórios remotos, virtuais e *hands-on* possuem distinções quanto ao seu formato de interação com o usuário e ainda com relação ao fator geográfico que define a distância do usuário com o laboratório para a realização de sua prática.

Algumas pesquisas apresentadas por Ma e Nickerson (2006), Viegas et al. (2014), Jara et al. (2011) mostram um pouco de como é a abordagem de integração de tecnologia utilizando três objetos educacionais distintos onde introduzem duas ou mais tecnologias no cotidiano do discente comparando seus resultados de satisfação, motivação e utilização.

A diversidade de fatores que cercam os diferentes tipos de laboratórios remotos tornam iminente as comparações a cerca de fatores que envolvam seu grau de utilização e impacto combinados com seu custo de aquisição,

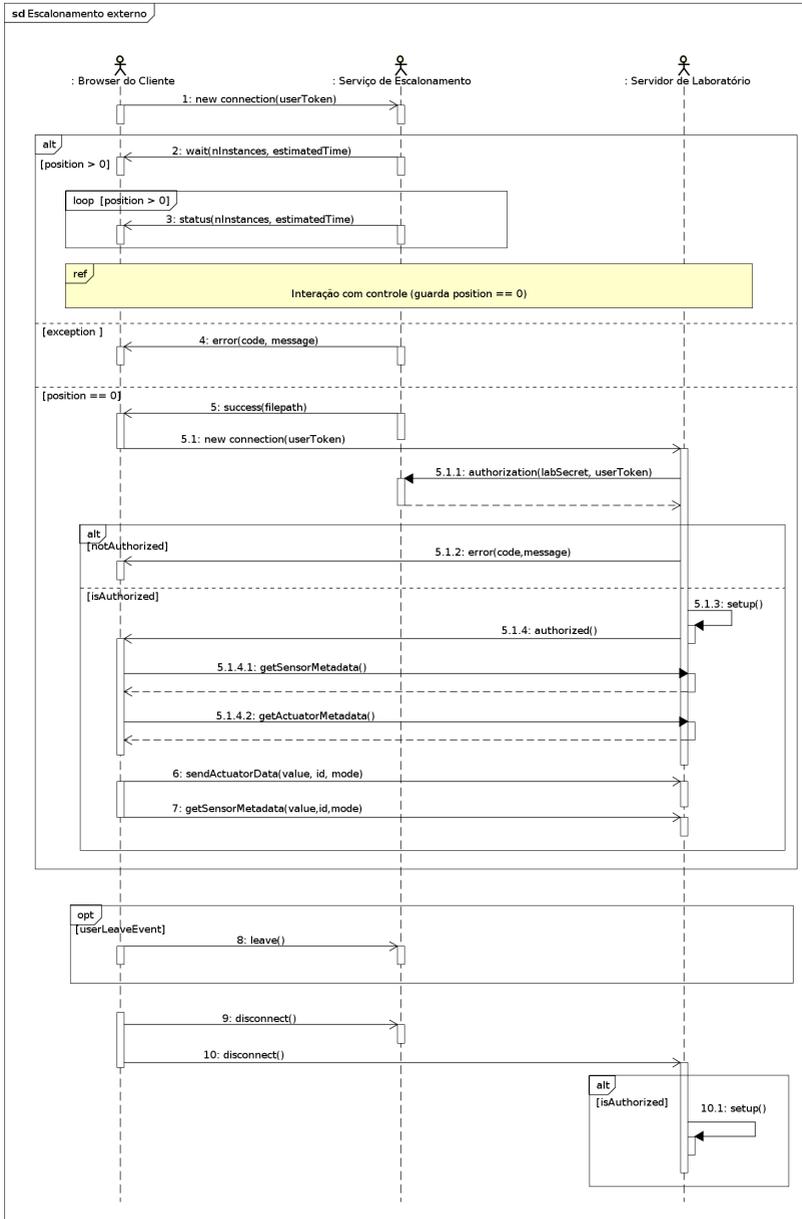


Figura 11: Aplicação do paradigma de *smart device* RELLE-LIS. Fonte: Lima (2016).

manutenção dentre outros fatores.

Laboratórios *hands-on* possuem agregado a si custos referentes a sua aquisição prática, espaço físico e técnico especializado para controle. Os remotos possuem associado os custos de aquisição e manutenção da mecatrônica do laboratório agregando ao custo de desenvolvimento de software para automatização e disponibilização em rede. Os laboratórios virtuais restringem-se, na maioria das vezes, ao desenvolvimento de software e seu compartilhamento em rede.

Diversas pesquisas que analisam as aplicações nos distintos tipos de laboratório, em sua grande maioria dos casos, classificam a indispensabilidade do laboratório *hands-on* pela experiência prática (BALAMURALITHARA; WOODS, 2009) e consideram o laboratório virtual importante por conter a possibilidade de através de efeitos especiais, oferecer a possibilidade de visualizar elementos imperceptíveis na prática, já laboratórios remotos são capazes de promover um *background* inicial a experiências presenciais na resolução de problemas (NICKERSON et al., 2007).

## 2.7 PADRONIZAÇÕES E TRABALHOS EM DESENVOLVIMENTO

Trabalhos relacionados a padronização de laboratórios híbridos do tipo móvel encontram-se em número bastante limitado atualmente, o grupo de trabalho IEEE P1876 (*Standard for Networked Smart Learning Objects for Online Laboratories*)<sup>7</sup> vem buscando definir métodos que uniformizem as formas de comunicação e dados analíticos de laboratórios online.

Iniciativas técnicas ligadas a construção dos laboratórios online, como o paradigma de *Smart Device* e o *Gateway* inteligente *Gatewa4labs* vem sendo exploradas em pesquisas na École Polytechnique Fédérale de Lausanne e Universidad de Deusto, respectivamente.

Iniciativas como a do projeto Go-Lab<sup>8</sup> finalizado em 2016 e renovado no projeto Next-Lab, GT-MRE<sup>9</sup> e VISIR+<sup>10</sup> buscam fomentar ainda mais iniciativas ligadas a integração de tecnologia na educação através do uso de laboratórios online.

---

<sup>7</sup><https://iee-SA.imeetcentral.com/1876public/>

<sup>8</sup><http://www.go-lab-project.eu/>

<sup>9</sup><http://gt-mre.ufsc.br/>

<sup>10</sup><http://www2.isep.ipp.pt/visir/>



### 3 METODOLOGIA

Este capítulo se destinará a detalhar a metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho, bem como as etapas que se deram durante o andamento do mesmo.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O presente trabalho estruturou-se a partir de uma análise bibliográfica por trabalhos relacionados ao tema pesquisado dentro do escopo dos objetivos deste trabalho com vistas a vislumbrar possíveis carências no desenvolvimento de tecnologias no cenário de laboratórios móveis.

A pesquisa de caráter qualitativa quanto a sua abordagem, que se caracteriza como Oliveira (2007, p. 59) "[...] uma tentativa de se explicar em profundidade e as características dos resultados [...]".

Seguindo seu preceito, a pesquisa de natureza aplicada tem seu foco na aplicação prática a fim de gerar conhecimento dirigidos a um dado problema específico (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Definida sua classificação com objetivos exploratórios, que conforme Gil (2010, p. 41) "[...] tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou construir hipóteses".

Logo, a pesquisa relatada segue os modelos de procedimentos experimentais que permite ao autor fazer uma afirmação sobre a realização da sua pesquisa sobre uma dada causa e efeito (BRYMAN, 2004).

De um modo geral, a pesquisa teve como resultado um produto em uma proposta de modelo de arquitetura para laboratórios móveis em educação.

#### 3.2 ETAPAS DA PESQUISA

Para a realização deste trabalho dividiu-se o seu processo de desenvolvimento em 4 etapas, sendo seu início retratado por uma revisão bibliográfica para compor o embasamento teórico norteador desta pesquisa a respeito de arquiteturas para laboratórios híbridos.

Seguido-se pelas etapas de projeto e desenvolvimento do piloto a ser integralizado na etapa 4 com uma análise dos resultados proveniente das etapas predecessoras a mesma. O diagrama apresentado na Figura 12 ilustra as fases deste desenvolvimento que exibem a sequência das etapas.

Para a etapa 1, referente a revisão bibliográfica, elaborou-se uma re-

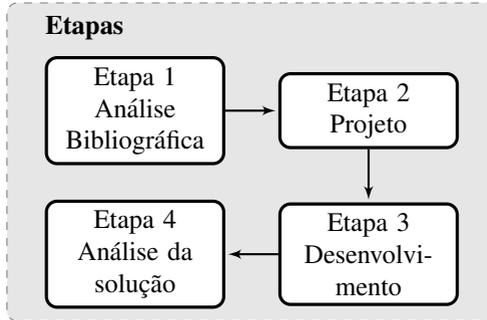


Figura 12: Diagrama de etapas da pesquisa. Fonte: Autor.

```

1 TOPIC = (
2   ( ( ( "remote lab*" AND "hands*"
3 AND ( "hybrid lab*" OR mixed OR "flip*" ) )
4 AND ( "online learning" OR "education" OR
5 "learning" ) ) ) ) )
  
```

Figura 13: Query de revisão gerada. Fonte: Autor.

visão sistemática nas bases de dados IEEEExplore e Scopus, a fim de encontrar trabalhos relacionados e autores que fossem referências nas áreas relacionadas ao desenvolvimento de arquitetura para laboratórios híbridos, desta forma, adotou-se em um modelo de busca adaptado de Heradio et al. (2016) e Ma e Nickerson (2006).

Da *query* resultante da Figura 13 que exhibe o modelo de revisão adotado obteve-se um total de 85 trabalhos, sendo 80 na base de dados IEEEExplore e 5 na Scopus. Após o processo de remoção das duplicatas resultou-se em um total de 84 trabalhos.

No desenvolvimento da etapa 2, referente a elucidação das atividades de produção, concebeu-se um projeto com base nos resultados analisados provenientes da etapa 1 adotando o modelo em cascata como metodologia de trabalho. Para gerenciar o desenvolvimento realizado na etapa 3 adotou-se a ferramenta GitLab<sup>1</sup> que é capaz de realizar o controlar as versões de código e ainda as atividades do projeto em seus três estágios (por desenvolver, em desenvolvimento, concluído).

<sup>1</sup><http://gitlab.com>

Durante a etapa 3, construiu-se uma API (Application Programming Interfaces) como produto de uma proposta de modelo para definição de metadados para interface de usuário em laboratórios híbridos chamada de UI Composition junto com o *smart gateway* e o ambiente colaborativo online chamado neste trabalho de Lab@Home.

Logo, buscando comprovar os resultados obtidos nesta pesquisa, a etapa 4 referente a análise dos dados buscou a concepção de um piloto sob os modelos possíveis de interação com a plataforma.

Ao final deste trabalho buscou-se mensurar a escalabilidade da solução proposta em um comparativo com laboratórios remotos baseando-se no modelo matemático de laboratórios em massa proposto por Lowe (2014), traçando um paralelo entre a relação número de usuários atendidos e custo.



## 4 DESENVOLVIMENTO

A presente seção bem como suas respectivas sub-seções irão descrever o processo de desenvolvimento deste trabalho conforme a metodologia estabelecida elucidando os processos e os produtos oriundos deste trabalho dentro de um modelo definido a fim de validação do piloto criado.

### 4.1 ARQUITETURA DESENVOLVIDA

A proposta de modelo de laboratório online desenvolvido nesse trabalho visa propor um modelo híbrido de laboratório baseado em experimentação remota e manipulação de componentes de maneira *hands-on*, tal fato este que exige novas demandas no desenvolvimento de tecnologias no campo de laboratórios online.

Baseado em um modelo móvel de laboratório onde pretende-se agregar o benefício de que um laboratório pode estar conectado de qualquer lugar e a qualquer momento, desde que tenha uma conexão com a Internet, deste modo fez-se necessário considerar um cenário de realização de uma prática em sua residência.

O formato de conexão é portador de limitações de acesso que precisam de métodos alternativos para serem resolvidos, como por exemplo, a disponibilidade de um endereço IPv4 público por parte de um usuário convencional para compartilhar um laboratório na rede, desta forma o modelo arquitetural convencional de laboratórios remotos necessitou ser redefinido quanto a sua funcionalidade de operação para trabalhar sobre o modelo de laboratório móvel pretendido.

Considerando uma das problemáticas apontadas, a arquitetura proposta partirá do pressuposto que tanto o laboratório móvel como o usuário final operarão em modo cliente.

Baseado nesse pressuposto de que o laboratório móvel e usuário serão clientes, desenvolveu-se um *gateway* responsável por receber as mensagens do laboratório móvel e encaminhar aos usuários conectados a aplicação web - chamada de Lab@Home - que será a responsável por prover as páginas para o usuário e vice-versa.

A Figura 14 exibe a macro arquitetura definida através de um diagrama de blocos, assim elucidando a interconexão entre os elementos que compõem as três camadas do sistema, sendo, aplicação web Lab@Home, *gateway* e laboratório móvel.

Da aplicação web tem-se o bloco responsável pelo serviço de autenticação

que permitirá com que os usuários gerenciem sua própria conta e participem ou criem projetos.

O *core* da aplicação encontra-se nos blocos *Lab Interface* que define os objetos gráficos de interação entre o usuário e o laboratório móvel. Ao bloco UI Composition, tem-se como o descritor da prática através do armazenamento dos metadados da experiência.

O Smart Device Agent, irá ser o canal de comunicação direta entre a aplicação Lab@Home com o laboratório móvel, este será responsável por receber os dados oriundos do laboratório móvel e transferir ao UI Composition para que interaja com o módulo Lab Interface.

Na camada intermediária de *Gateway* tem-se o serviço de autorização, que funcionará autorizando acesso tanto de laboratórios como de usuários, estes por vez estarão ligado ao serviço de comunicação, responsável pelo transporte das mensagens entre as camadas.

Para a camada inferior, Lab, tem-se à aplicação *Lab Server* como responsável pela interação com as camadas superiores e como controladora do equipamento.

A Figura 15 apresenta um diagrama de caso de uso considerando as ações possíveis de cada tipo de usuário no domínio da aplicação Lab@Home e a criação de laboratórios móveis.

A sub-seção 4.3 se destinará a descrever a integração do paradigma de dispositivos inteligentes na arquitetura retratada alinhando com o modelo de dados na criação de interface de usuário e o ambiente colaborativo online Lab@Home nas sub-seções 4.5.1 e 4.4, respectivamente.

#### 4.1.1 Tecnologias utilizadas

Para o desenvolvimento desta proposta de modelo utilizou-se de algumas tecnologias web e noções básicas de computação embarcada a fim de realizar um piloto para validação dentro do modelo proposto.

Para o desenvolvimento do ambiente colaborativo online, descrito na sub-seção 4.4, utilizou-se o *framework* PHP Laravel 5.4, jQuery e elementos de CSS. Para o desenvolvimento do modelo UI Composition, apresentado na sub-seção 4.5.1 que prevê a criação das interfaces de interação no ambiente utilizou-se de linguagem jQuery para manipulação de arquivos em formato JSON.

No domínio de projeção dos dados incorporado ao UI Composition utilizou-se a biblioteca Chart.js<sup>1</sup> em sua versão 2.0 que permite a aplicação à criação de gráficos personalizados de variados tipos.

---

<sup>1</sup><http://chartjs.org/>

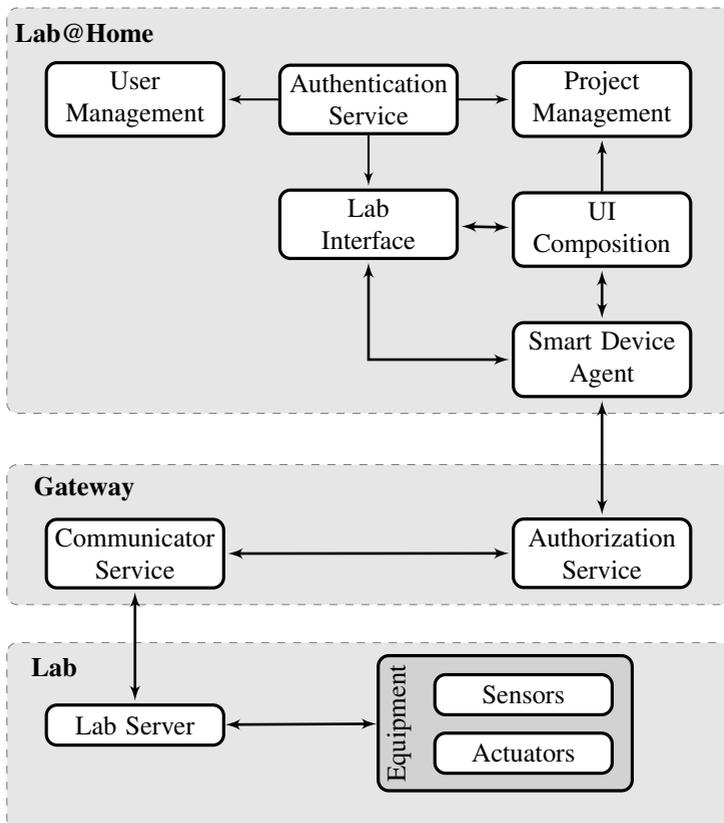


Figura 14: Arquitetura desenvolvida.

Para a utilização do paradigma de dispositivos inteligentes, ligada diretamente ao modelo de projeção de dados utilizou-se da biblioteca Smart Device desenvolvida pelo projeto Go-Lab<sup>2</sup>) para interpretação dos dados oriundos dos laboratórios móveis desenvolvidos pelos usuários.

Através da linguagem JavaScript utilizou-se o *framework* Node.js para criar a aplicação web do laboratório móvel, de modo que fosse capaz de propor um piloto de validação para a arquitetura proposta.

Na camada intermediária da arquitetura, buscando conectar o ambiente colaborativo online e os laboratório móveis, desenvolveu-se o *gateway*

<sup>2</sup>Smart Device API desenvolvida pelo projeto Go-Lab <https://github.com/go-lab/smart-device-metadata>

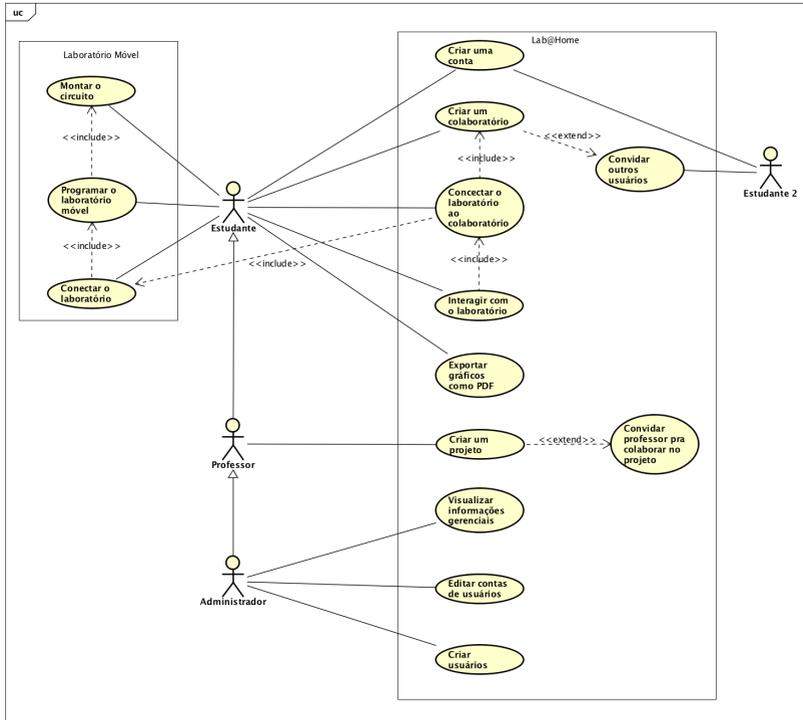


Figura 15: Diagrama de caso de uso da arquitetura desenvolvida. Fonte: Autor.

responsável por interfacear as duas lados clientes, este também foi concebido utilizando o *framework* Node.js.

## 4.2 LABORATÓRIO MÓVEL

O modelo de laboratório móvel para a arquitetura desenvolvida faz com que este tipo de laboratório possa ser concebido a partir de um modelo genérico, desde que este baseie-se no paradigma de dispositivos inteligentes.

A fim de validação de arquitetura, utilizou-se a SBC (*Single Board Computer*) Raspberry Pi Model B+ alimentado por uma fonte de 5V/2A com um sensor de temperatura e umidade DHT22 conectado a uma protoboard.

A Figura 16 exibe o diagrama do circuito montado que compõe o laboratório móvel.

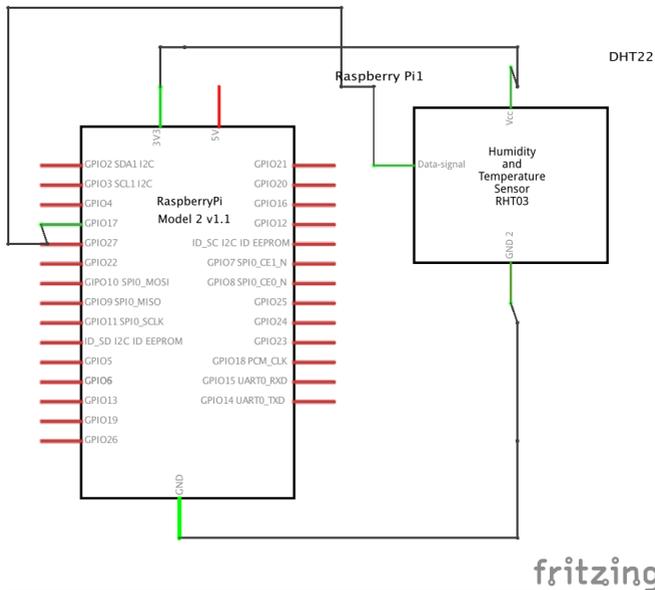


Figura 16: Esquemático do laboratório móvel desenvolvido. Fonte: Autor.

O código desenvolvido disponível sob licença MIT encontra-se disponível no GitLab<sup>3</sup>. O código fornece uma interface para conexão do cliente de laboratório móvel com a aplicação cliente Lab@Home através do *gateway* com suporte ao paradigma de dispositivos inteligentes.

A aplicação desenvolvida utilizando a linguagem de programação JavaScript por intermédio do *framework* Node.js utiliza de alguns *plugins* que se fazem necessários para integrar protocolos de comunicação com o sensor utilizado por meio da troca de mensagens em rede.

Utilizou-se o *pluginsocket.io-client*<sup>4</sup> para interagir com os demais componentes da macro arquitetura através da rede, já para acessar os valores referente a temperatura e umidade no sensor DHT22, utilizou-se o módulo *rpi-dht-sensor*<sup>5</sup> para Node.js.

A Figura 17 detalha a forma com que é realizada a comunicação através do paradigma de dispositivos inteligentes no laboratório móvel.

<sup>3</sup><https://gitlab.com/labathome-group/labhome-client>

<sup>4</sup><https://www.npmjs.com/package/socket.io-client>

<sup>5</sup><https://www.npmjs.com/package/rpi-dht-sensor>

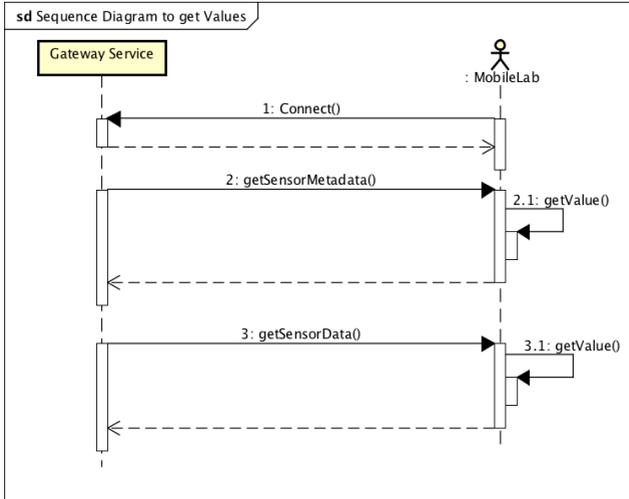


Figura 17: Diagrama de sequência na busca pelo dados dos sensores. Fonte: Autor.

### 4.3 SERVIÇO DE GATEWAY

A definição do serviço de *gateway* se dá por problemas já relatados relacionado as formas de conexões dos usuários servidores para usuários clientes, visto que as conexões são feitas de um cliente para outro cliente.

O serviço de *gateway* é responsável por receber as requisições de cada usuário e encaminhar aos usuários que estão conectados ao mesmo laboratório seguindo o modelo de chat. Tal modelo define que dada uma mensagem recebida esta deve ser retransmitida a todos os demais usuários pertencentes ao "chat".

O serviço foi desenvolvido baseado no paradigma de dispositivos inteligentes, logo cada laboratório precisa implementar seus métodos para conseguir se comunicar com o mesmo, da mesma forma, os usuários podem fazer requisições ao mesmo usando os métodos *getSensorMetadata()*, *getActuatorMetadata()*, *getSensorData()* e *sendActuatorData()*, a implementação baseada em dispositivos inteligentes faz com que os usuários só recebam mensagens que correspondam aos métodos do paradigma adotado.

A Figura 18 detalha em um diagrama de sequência de como são feitas as trocas de mensagens pelo *gateway* considerando a arquitetura desenvolvida trazendo consigo os elementos laboratório móvel e o ambiente colaborativo online.

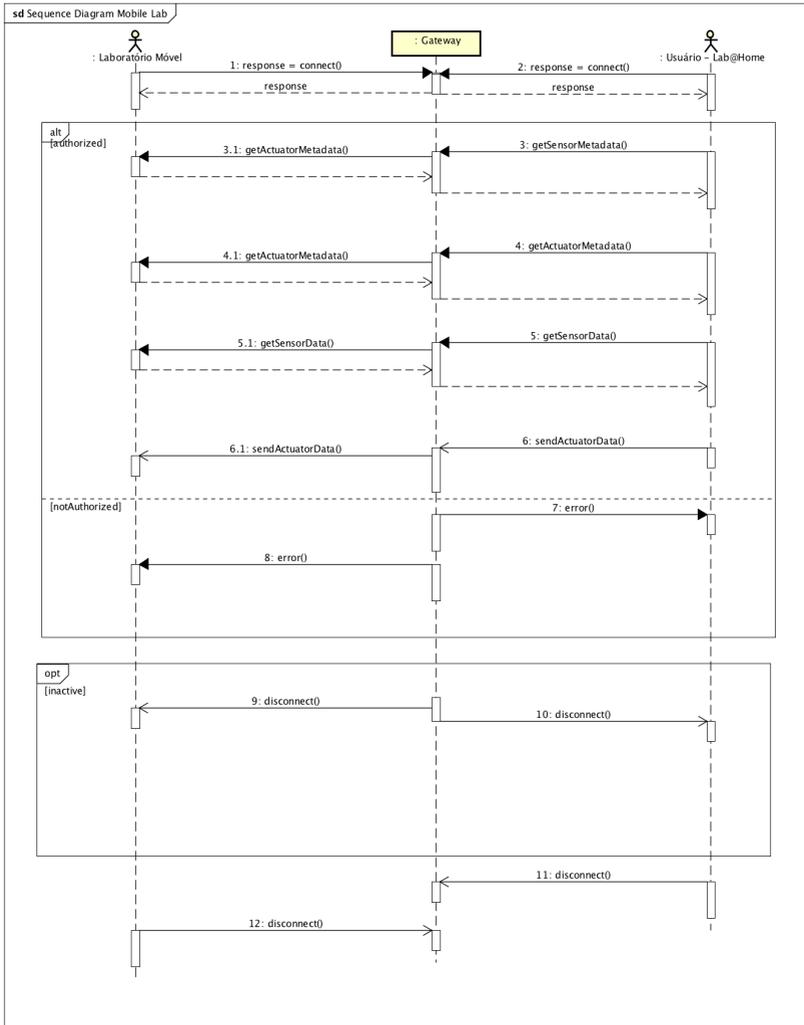


Figura 18: Diagrama de sequência da arquitetura desenvolvida na visão do gateway. Fonte: Autor.

Tanto os usuários da aplicação Lab@Home como os laboratórios móveis conectam-se ao serviço de *gateway* através de uma URL codificada com um *token* que após a autenticação encontram-se aptos para enviar e receber mensagens através dos métodos implantados pelos dispositivos inteligentes. Tal URL é gerada pela aplicação Lab@Home, descrita na seção 4.4.

#### 4.4 LAB@HOME: AMBIENTE COLABORATIVO ONLINE

Concebeu-se o Lab@Home baseado em um modelo que permitisse a colaboração na disponibilização e acesso de um laboratório em rede, bem como sua discussão através de chat, assim os usuários convidados para acessar o ambiente de interação com o laboratório, chamado de colaboratório, podem interagir com o mesmo junto de seus colegas.

Desta forma, desenvolveu-se o sistema baseado no modelo de diferentes tipos de usuários com suas respectivas permissões de utilização, sendo:

- **Estudante:** pode criar colaboratórios e matricular-se em projetos;
- **Professor:** assume as mesmas funcionalidades aluno podendo criar projetos e verificar os resultados de aprendizagem;
- **Administrador:** congrega todas as funções dos demais tipos de usuário possuindo informações gerenciais sobre a utilização da ferramenta.

Assumindo o papel de um usuário em seu nível mais básico (estudante), que possui a tarefa de criar um colaboratório e conectar um laboratório à rede para interagir com o mesmo, à Figura 19 aponta os passos que este deverá fazer para atingir seu objetivo final. Tal sequência delinea-se através de um diagrama de fluxo, considerando o modelo proposto por este trabalho e assim poder interagir com um laboratório de modelo genérico, ou seja, um laboratório que não se baseará em outra criação predecessora.

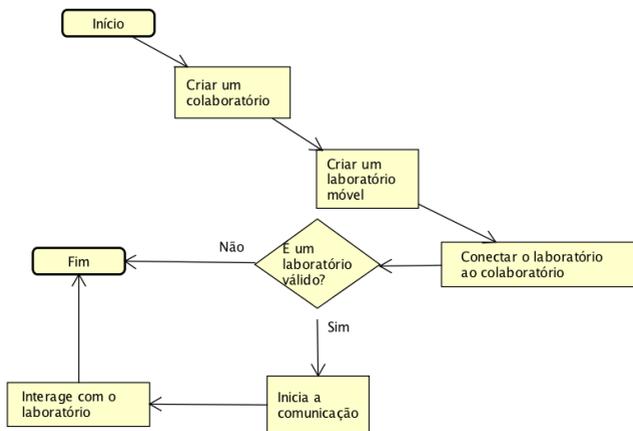


Figura 19: Diagrama de fluxo para interação com um laboratório genérico. Fonte: Autor.

Já a Figura 20 exibe um modelo similar ao apresentado na Figura 19, porém relatando a criação de um laboratório baseado em projeto, ou seja, um laboratório de exemplo que foi disponibilizado por um professor em um projeto a qual o aluno deva estar matriculado, previamente.

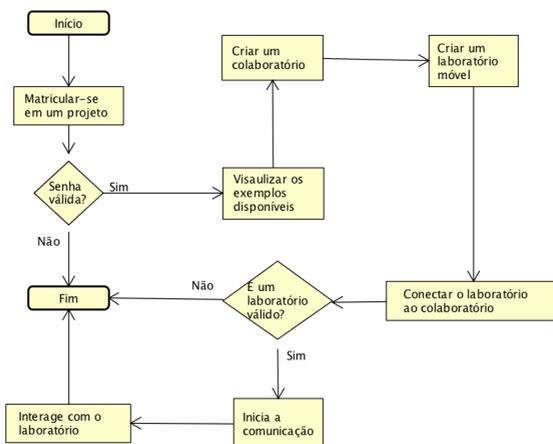


Figura 20: Diagrama de fluxo para interação com um laboratório baseado em projeto. Fonte: Autor

Aos colaboradores pode-se ainda adicionar questões que acabam por serem salvas no banco de dados da aplicação e os usuários podem interagir entre si dentro do chat que encontra-se embarcado dentro de cada laboratório.

A partir da aplicação Lab@Home onde são conectados os laboratórios móveis por meio de aplicações *LabServers* suportadas pelo paradigma de dispositivo inteligente, surgem diferentes frentes de desenvolvimento, a qual relatam a integração com os dispositivos inteligentes e a projeção dos dados oriundos dos laboratórios, respectivamente apresentados nas sub-seções 4.5 e 4.5.1.

## 4.5 INTEGRAÇÃO COM DISPOSITIVOS INTELIGENTES

A descrição de dispositivos inteligentes encontra-se embarcada no domínio da comunicação e interpretação de dados que se funde diretamente ao modelo de definição dos dados no modelo *UI Composition* e seus dados que o alimentam, respectivamente.

A utilização deste paradigma descrito por Salzman et al. (2015) se dá mediante a proposta de desenvolver uma aplicação que torne o processo de identificação dos metadados mais automatizado, assim, faz-se necessário a sua inclusão junto ao modelo arquitetural proposto através do agente de dispositivo inteligente na aplicação Lab@Home.

A utilização dos dispositivos inteligentes no controle da aplicação permite a abstração de diferentes funcionalidades ao usuário que vê métodos de maneira oculta, como por exemplo o de atualização automática dos dados descrito na sub-seção 4.5.1.1.

Visando integrar os recursos provenientes dos laboratórios móveis com a aplicação Lab@Home criou-se um modelo de definição de dados para interface de usuário chamado de *UI Composition*, que encontra-se também embarcado junto a aplicação Lab@Home, que irá auxiliar à aplicação em diversas etapas da experiência prática do usuário agrupando os metadados da experiência. A sub-seção 4.5.1 descreve o processo de concepção e utilização do mesmo.

### 4.5.1 Modelo de definição de dados

O modelo de definição de dados trata-se de uma proposta de biblioteca, que tem como produto final um arquivo descritor utilizado para leitura e escrita de dados por parte da aplicação Lab@Home. O fato do desenvolvi-

mento deste se deve a dificuldade de integrar diferentes recursos oriundos de diferentes naturezas de laboratórios.

Idealizado através do formato de arquivos JSON, o modelo proposto torna-se portátil para um grande número de aplicações e linguagens que sejam capazes de manipular este tipo de arquivo.

Ligado a característica chave-valor do formato JSON, elaborou-se os elementos chaves de modo que se pudesse agregar uma série de dados e metadados da prática, sendo assim, nesse arquivo descritor é capaz de encontrar os seguintes dados:

1. Informações referente ao laboratório móvel conectado a aquela prática;
2. Dados do usuário que realizou a prática de experimentação e qual o horário de sua realização;
3. Recursos que ele utilizou para elaborar projeção dos dados;
4. Resultado final das projeções dos dados codificado em Base64;
5. Informações gerenciais.

O Quadro 1 exibe os componentes do arquivo descritor e suas descrições específicas para cada tipo de campo.

Um exemplo de arquivo descritor é ilustrado na Figura 21 que exibe a utilização real por um dado usuário em uma experiência elaborada para fins de validação.

Quadro 1: Descrição de um arquivo UI Composition.

Atributo	Descrição
author	Usuário que está realizando a prática.
date	Data de criação do colaboratório.
hash	Hash gerada pelo sistema para identificar o colaboratório.
charts	Array contendo todos os objetos gráficos criado pelo usuário.
charts['canvasId']	Identificador da tag canvas na interface web do usuário.
charts['type']	Tipo de objeto gráfico criado pelo usuário.
charts['usageYremote']	Definição de uso de elementos oriundos do laboratório móvel para o eixo Y.
charts['axisY']	Array de {sensorId} correspondentes ao eixo Y.
charts['usageXremote']	Definição de uso de elementos oriundos do laboratório móvel para o eixo X.
charts['axisX']	Array de {sensorId} correspondentes ao eixo X.
SmartDeviceURL	URL de conexão com o laboratório móvel.
email	Email do usuário conectado.

```

{
  "author": "Lucas Mellos Carlos",
  "date": "2017-09-07T02:27:48.324Z",
  "uiVersion": "0.1",
  "hash": "$2ys10$KyLIZkHmD6JGZCz3ki58ZuIwjo5w6AGNwSoJABLRidahkwdGFTIUk",
  "charts": [
    {
      "canvasId": "canvas0",
      "type": "line",
      "usageYremote": true,
      "axisY": [
        "dht22"
      ],
      "usageXremote": false,
      "axisX": null,
      "timeToUpdate": "1",
      "lastRead": null,
      "base64Image": null,
      "firstRead": true
    }
  ],
  "SmartDeviceURL": "http://labathome.rexlab.ufsc.br:8008/labs/1",
  "email": "lucas.mellos@grad.ufsc.br"
}

```

Figura 21: Exemplo de arquivo descritor. Fonte: Autor.

O formato a qual o UI Composition foi concebido relaciona-se ao paradigma de dispositivos inteligentes, assim este dependerá ainda de outra integração, esta por sua vez com alguma biblioteca gráfica para tratamento dos dados e exibição ao usuário. A sub-seção 4.5.1.1 detalhará como é realizada tal integração.

#### 4.5.1.1 Formato de utilização dos dados

A criação do modelo de arquivo descritor impacta diretamente na capacidade de permitir a reutilização do software para diferentes recursos dentro da própria aplicação, tornando assim este utilizável em outras funcionalidades.

Considerando um exemplo de uso cotidiano, a Figura 22 exibe um diagrama de casos de uso que objetiva demonstrar um cenário onde o Usuário 1 cria um ambiente para experimentação e convida um Usuário 2 para participar do mesmo de maneira colaborativa.

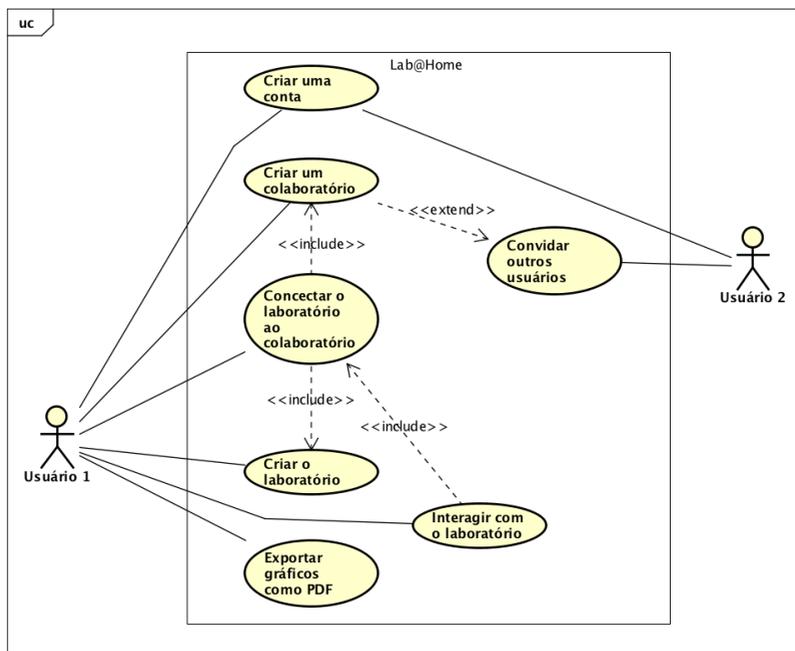


Figura 22: Diagrama de casos de uso para uso da aplicação Lab@Home. Fonte: Autor.

Os usuários da prática utilizam o mesmo arquivo descritor em cinco diferentes usos que vão desde a criação do colaboratório, até às fases de conexão e interação e ainda a reutilização do mesmo arquivo para gerar relatórios em formato PDF dos dados armazenados no arquivo conforme a personalização da prática. Cada prática tem seu arquivo descritor salvo em formato JSON na aplicação para que possa ser reaproveitado posteriormente na mesma prática ou em relacionadas.

A definição de um mesmo arquivo descritor para cada prática faz com que um mesmo usuário possa reaproveitar a sua prática do momento em que parou desde a sua última utilização em outro momento, assim as práticas encontram-se todas salvas e podem ser compartilhadas na criação de projetos que envolvam colaboratórios relacionados.

A integração com o paradigma de dispositivos inteligentes e o modelo de definição de dados da aplicação tem que sua integração se dá em três etapas distintas, sendo:

- Apresentação dos metadados do laboratório;
- Recepção e envio dos dados;
- Integração com o *UI composition*.

Após a conexão com o laboratório móvel, por intermédio do serviço de *gateway*, o usuário final da aplicação possui o controle para definir os parâmetros a qual este desejará observar no seu ambiente de visualização dos dados, esse aliado ao modelo de projeção dos dados, descrito na subseção de projeção dos dados. A Figura 23 exibe um exemplo de apresentação dos metadados de um laboratório integrado à aplicação Lab@Home, estes já tratados pela mesma.

Os metadados mapeados pela aplicação provenientes dos laboratórios móveis são agrupados no arquivo descritor a fim de poder auxiliar na atualização dos dados.

Tais metadados são utilizados na segunda etapa, este que por conseguinte é compartilhado pelo serviço de *gateway* com a aplicação cliente que após conectado ao laboratório passa a fazer requisições à cada segundo através do método *getSensorData()* para a aplicação através da troca de mensagens assíncronas.

A Figura 18 exibe um diagrama de sequência que detalha como é feita a troca de mensagens entre as partes, para tal o paradigma de dispositivos inteligentes é introduzido no momento que as partes autenticam-se no serviço de *gateway*.

Definida a comunicação entre as duas aplicações clientes auxiliadas pelo serviço de *gateway*, a aplicação Lab@Home invoca o um método de

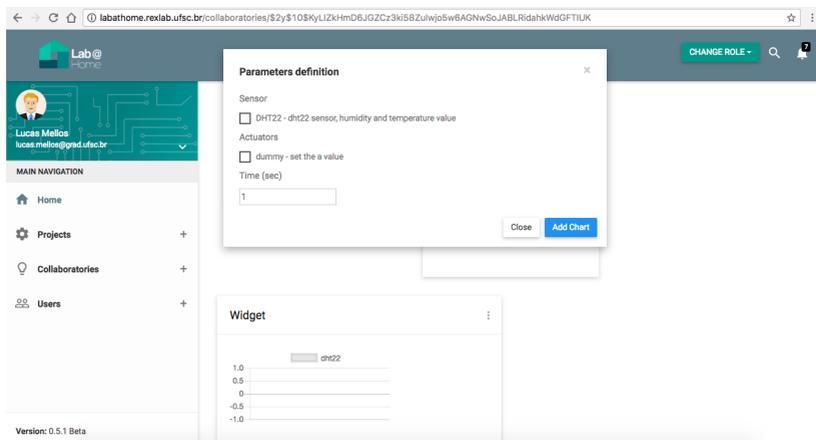


Figura 23: Exemplo de integração com dispositivos inteligentes realizada. Fonte: Autor.

*update()* que encontra-se recupera as informações do modelo de projeção de dados.

Tal modo de recuperação dos dados representa a etapa III, fazendo com que o cliente armazene todas as informações referente a sua prática no navegador, assim cada novo dado entrante na aplicação, passa a ser mapeado com o arquivo descritor e o estado atual da comunicação com seus respectivos objetos gráficos, constituindo-se assim o formato de atualização dos gráficos criados pelo usuário.

A Figura 24 exhibe o esquema de semelhança entre os arquivos, considerando os dados recebidos do arquivo descrito pelo paradigma de dispositivo inteligente, vide sub-figura 24a e o objeto *charts* do arquivo descritor usado pelo método de *update* no Lab@Home na sub-figura 24b.

O método de *update()* relaciona os *N* gráficos criados que podem ter seu tipo e configuração variável no colaboratório com o atributo identificador de cada sensor que é apresentado pela chave *sensorId* na sub-figura 24a, armazenando assim suas preferências nas chaves *axisY* ou *axisX* do arquivo descritor (24b) conforme as preferências do usuário.

Assim, a etapa III define a criação dos objetos gráficos por parte do usuário que poderá definir a respeito de sua personalização em relação ao tipo de gráfico e aos sensores que este usará para criar cada um dos seus objetos gráficos.

Logo, a projeção se dá por meio da biblioteca gráfica Chart.js, que se encontra embarcada a biblioteca *UI Composition*, uma vez que os métodos de

```

{
  "method": "getSensorData",
  "sensors": [
    {
      "sensorId": "dht22",
      "accessRole": "controller",
      "responseData": {
        "valueNames": [
          "dht22"
        ],
        "data": [
          "24.50"
        ],
        "lastMeasured": [
          "24.50"
        ]
      }
    }
  ]
}

```

```

"charts": [
  {
    "canvasId": "canvas0",
    "type": "line",
    "usageYremote": true,
    "axisY": [
      "dht22"
    ],
    "usageXremote": false,
    "axisX": null,
    "timeToUpdate": "1",
    "lastRead": null,
    "base64Image": null,
    "firstRead": true
  }
],

```

(a) Método *getSensorData*.(b) Objeto *charts*.Figura 24: Análise: UI Descriptor x método *getSensorData*. Fonte: Aut or.

*getChartJs()* e *update()* possuem relação direta com a mesma. A utilização desta biblioteca gráfica gera uma dependência no desenvolvimento de novas aplicações que utilizem desta tecnologia de identificação de metadados de práticas oriundas de laboratórios móveis.

Desta forma, tem-se os diferentes tipos de gráficos que podem ser projetados no domínio da aplicação dos dispositivos para o usuário, devendo este ser integrado diretamente com o paradigma de dispositivos inteligentes.

#### 4.6 TESTES E AVALIAÇÃO

A fim de testar a proposta de arquitetura desenvolvida, elaborou-se um plano de testes que compunham a agregação de diferentes partes arquitetura como um todo.

A definição de cada modelo de teste se deu dentro do domínio da aplicação onde se pode criar um laboratório a partir de um modelo genérico e baseado em um projeto.

A fim de concretizar os mesmos, criou-se um laboratório piloto com uma SBC Raspberry Pi Model B+ e um sensor de temperatura e umidade DHT22 conectado a uma placa de prototipação para orientar os testes nos dois ambientes. A Figura 25 exhibe o piloto de laboratório móvel desenvolvido.

A Figura 26 exhibe o funcionamento do laboratório móvel junto ao ambiente colaborativo online, tendo este seu objeto de exibição gráfico definido

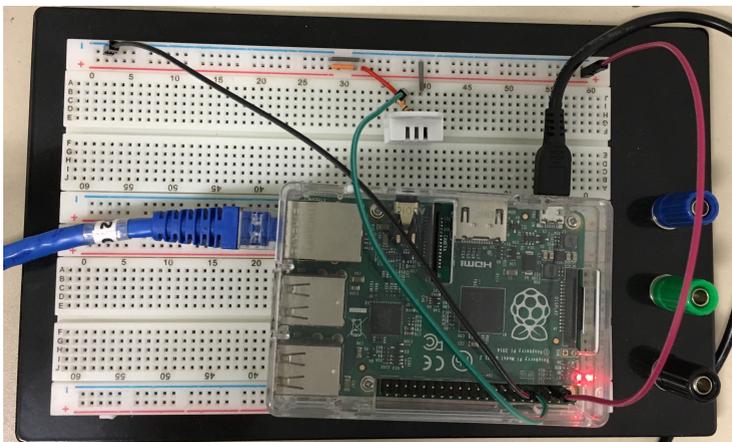


Figura 25: Piloto de laboratório móvel desenvolvido. Fonte: Autor.

pelo usuário da experiência que mapeou os sensores junto ao seu modelo de exibição dos dados através da tecnologia *UIComposition*.

Já a Figura 27 ilustra como é feito a criação de um projeto para estudantes, colocando um colaboratório como sendo um modelo genérico, desta forma estudantes podem criar seus colaboratórios baseado em projeto, tal projeto ainda pode compartilhar os dados de acesso através de uma *senha* especial e adicionar arquivos, como por exemplo, código-fonte, imagens, diagramas, dentro outros.

The screenshot displays the Lab@Home web application interface. At the top, the browser address bar shows the URL: `labathome.rexlab.ufsc.br/collaboratories/S2y$10SKyLIZkHmD6.JGZCz3kI58.ZuWjo5w6AGNwSoJABLRIdahKwGFTUk`. The user profile for Lucas Mello is visible in the top left. The main navigation menu on the left includes Home, Projects, Collaboratories, and Users. The central dashboard features a top navigation bar with tabs for GROUP, ACTIVITIES, LAB (selected), TASKS, CHAT, and FILES. Below this, there are three primary widgets:

- Smart Device:** Contains a 'Token' field with the value `http://labathome.rexlab` and buttons for 'Generate Token', 'Reconnect', 'Stop Communication', and 'Add Chart'.
- Configuration:** Includes a 'Export as PDF' button.
- Widget:** A line chart titled 'dht22' showing data points over a 7-day period. The y-axis ranges from 22.0 to 24.5.

The version number 'Version: 0.5.1 Beta' is displayed at the bottom left of the interface.

Figura 26: Funcionamento de um colaboratório. Fonte: Autor.

This screenshot shows the configuration page for a project-based laboratory in the Lab@Home system. The interface includes the same navigation elements as Figure 26. The main content area is organized as follows:

- Project Title:** 'Temperature and Humidity'.
- Teachers:** A field containing the email `lucas.mello@grad.ufsc.br`.
- Description:** 'Project to measure Temperature and Humidity'.
- Project Password:** '123456'.
- Tags:** A field containing the tags `temperature` and `humidity`.
- Process Flow:** A horizontal sequence of four steps: 1. Contextualization, 2. Objectives, 3. Support Documents, and 4. Collaboratories.
- Collaboratory Examples:** Two text input areas are shown: 'My second collab' (containing 'My collab test uhul') and 'My collab example'.

The version number 'Version: 0.5.1 Beta' is visible at the bottom left.

Figura 27: Colaboratório baseado em projeto. Fonte: Autor.

#### 4.6.1 Análise de escalabilidade da solução

Dado o modelo de arquitetura obtido no desenvolvimento deste trabalho, buscou-se verificar a escalabilidade do serviço dentro da adaptação do modelo matemático estabelecido por Lowe (2014), que definiu parâmetros necessários para se considerar ao ponderar o modelo para escalabilidade para aprendizagem massiva usando laboratórios online.

Ao modelo de escalabilidade proposto, define-se escalabilidade como escalabilidade de solução que considerará o número de usuários e custos na rentabilidade da solução, não sendo essa considerada como escalabilidade de software ou hardware.

O Quadro 2 visa exibir e descrever os requisitos apontados como importantes para o autor.

Quadro 2: Requisitos de escalabilidade para laboratórios massivos. Fonte: Adaptado de Lowe (2014).

<b>Característica</b>	<b>Descrição</b>
Número de estudantes	Número de estudantes para acessar o laboratório
Tempo de duração da atividade	Tempo de sessão de cada prática experimental em um dado laboratório
Média de tempo em cada sessão por estudante	Média de tempo usado por cada estudante quando acessa o laboratório
Período de uso	Período de uso que um dado estudante necessitará além do período em classe
Janela de uso	Período diário de uso de cada laboratório considerando período de acesso em sala e tempo dedicado fora

Há que se considerar no modelo matemático que, os laboratórios remotos possuem uma disponibilidade de 24hs diária, porém a fim de se obter um resultado mais preciso se considerará o tempo de atividade diária do usuário um período de 18hs, considerando que tal usuário passaria 8hs inativo de suas atividades acadêmicas.

Assim, tem-se que o número de instâncias (NI) de um determinado laboratório dependerá do seu número de usuários (U) multiplicado pelo número

de sessões (NS) que cada usuário necessitará para atingir seu objetivo multiplicado pelo tempo unitário da sessão (TUS) sobre o tempo disponível (TD) do laboratório no período estipulado.

$$NI = \frac{(U * NS) * TUS}{TD} \quad (4.1)$$

Considerando uma prática que utilize um Painel Elétrico de Corrente Contínua (CC) que possui um tempo de sessão estabelecida de 15 minutos definindo ainda que somente uma seção é necessária para que os usuários cheguem as suas conclusões para a resolução de seus problemas, em uma sala de aula de 30 alunos em um período de 90 minutos de uma aula de física no ensino médio, observa-se que serão necessários cerca de 5 instâncias do mesmo laboratório para que todos os alunos consigam efetuar sua prática usando experimentação remota.

$$NI = \frac{(30 * 1) * 15}{90} \Rightarrow NI = 5 \quad (4.2)$$

Considerando o custo unitário de R\$ 1.800,00 de cada laboratório, tem-se que para atender todos os estudantes dentro do mesmo período de tempo é necessário um investimento de cerca de R\$ 9.000,00. A Figura 28 apresenta uma projeção da quantidade de instâncias de um mesmo laboratório necessárias para atender uma dada quantidade de até 100 usuários.

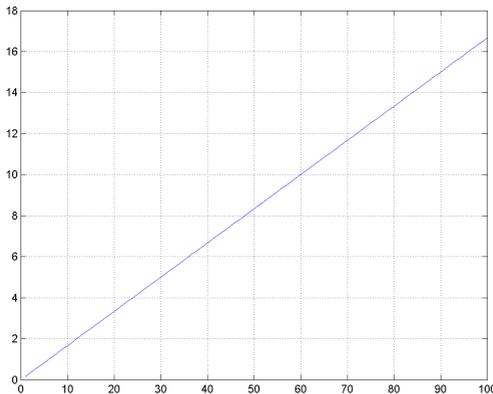


Figura 28: Projeção da quantidade de instâncias por número de usuário.  
Fonte: Autor.

Adotando-se o mesmo preço necessário para a construção de 9 instâncias do mesmo experimento seria possível adquirir 9 kits de eletrônica básica para

utilização no Lab@Home. De tal modo, tem-se que cada usuário teria tempo para executar sozinho cerca de 1.8 sessões, fato este que pode ser acrescido ainda mais com o acesso colaborativo.

$$9 = \frac{(30 * NS) * 15}{90} \Rightarrow NS = 1,8 \quad (4.3)$$



## 5 CONCLUSÃO

O fato de o aluno não poder manusear um equipamento ou componente, seja ele eletrônico ou não de maneira física de modo ideal dado uma série de fatores limitantes, como por exemplo, o tempo restrito de uma aula, é tido como um problema em demasia no campo da experimentação.

Ainda que, a realidade do alto custo e mantimento de um laboratório físico seja tida como um fator limitante, tem-se que de outro lado os laboratórios online visam cobrir tal problema e ainda promovendo um ambiente onde estão disponível *full-time*.

Logo, os laboratórios online ainda possuem fatores limitantes, principalmente no que tange a sua escalabilidade. Algumas iniciativas destacadas ao longo do trabalho buscam amenizar tal problema, porém nenhuma ainda de forma efetiva, salvo laboratórios virtuais que usem simulação por computador.

Iniciativas que buscaram tornar laboratórios remotos escaláveis acabaram perdendo elementos primordiais de laboratórios remotos como os laboratórios não interativos que acabam tendo filmes de um laboratório remoto, não permitindo ao usuário um alto nível de personalização da sua experiência.

O fato da solução desenvolvida oferecer suporte de uso de maneira colaborativa corrobora com Lowe (2014) ao afirmar esperar que a aprendizagem colaborativa suporte modelos mais escaláveis de aprendizagem e uso de laboratórios online.

Tendo em vista que a proposta aqui apresentada demonstrou-se ser mais escalável que as situações que interajam com equipamentos reais. Classifica-se ainda esse modelo de solução como um avanço em experimentação de laboratórios online por romper a barreira de experimentação a distância que não permite a interação com componentes físicos como sensores e atuadores.

Tal uso, permite que modelos genéricos de equipamentos possam ser utilizados, o que amplia o rol de experiências propostas possíveis por parte de docentes. Tais experiências podem ser concebidas utilizando modelos genéricos de computador embarcado ou SBC desde que adotem o mesmo modelo de comunicação assíncrona usando a biblioteca *socket.io* adequando os sensores para interagirem através do paradigma de dispositivos inteligentes.

Não obstante, o desenvolvimento de uma aplicação para laboratórios do tipo híbrida trouxe a tona problemáticas não convencionais no desenvolvimento de aplicações para laboratórios remotos, o fato de ter aplicações que podem estar em qualquer lugar do mundo faz com que um modelo de inter-

conexão genérico tivesse que ter sido desenvolvido.

## 5.1 TRABALHOS FUTUROS

Define-se o desenvolvimento deste trabalho como um embrião do projeto Lab@Home, que necessitará ainda de novos desenvolvimentos para que encontre a fluência de grandes plataformas internacionais que lidam com laboratórios online como WebLab-Deusto e RELLE.

Assim, elenca-se as possíveis áreas de desenvolvimento no futuro:

- Definição de um modelo em Node-RED para os laboratórios de modo que os usuários não precisem ter conhecimento de programação para operar experiência sob a plataforma;
- Utilização de métodos analíticos para monitoramento das atividades usando o *framework Experience API*;
- Analisar o impacto da solução em cursos de instituições de ensino superior em classes presenciais e a distância.

## REFERÊNCIAS

- AKTAN, B. et al. Distance learning applied to control engineering laboratories. **IEEE Transactions on Education**, v. 39, n. 3, p. 320–326, Aug 1996. ISSN 0018-9359.
- ALEXANDRE, M. I. et al. Impacts and barriers of the mobile remote experimentation introduced in basic education. In: **2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 324–325.
- ANTONIO, C. P. et al. Remote experiments and 3d virtual world in education. In: **2015 3rd Experiment International Conference (exp.at'15)**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 65–70.
- BALAMURALITHARA, B.; WOODS, P. C. Virtual laboratories in engineering education: The simulation lab and remote lab. **Computer Applications in Engineering Education**, Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company, v. 17, n. 1, p. 108–118, 2009. ISSN 1099-0542. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/cae.20186>>.
- BLÁZQUEZ, M.; CASTRO, M.; ZUBÍA, J. G. Actions taken to include remote labs in secondary education. In: **2016 Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE)**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–7.
- BRYMAN, A. **Research Methods and Organization Studies**. Taylor & Francis, 2004. (Contemporary Social Research). ISBN 9780203359648. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?id=\\_ImKWWmxclgC](https://books.google.com.br/books?id=_ImKWWmxclgC)>.
- CALLAGHAN, M. J. et al. Using game-based learning in virtual worlds to teach electronic and electrical engineering. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 9, n. 1, p. 575–584, Feb 2013. ISSN 1551-3203.
- CARLOS, L. M. et al. block.ino: Um experimento remoto para ensino de lógica de programação, robótica e eletrônica básica. In: **Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação**. <http://dx.doi.org/10.5753/cbie.wcbie.2016.151>: [s.n.], 2016.
- CORDEIRO, R.; FONSECA, J. M.; ALVES, G. R. Evolutionary analysis of online labs. In: **Proceedings of the 3rd International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality**. New York,

NY, USA: ACM, 2015. (TEEM '15), p. 631–637. ISBN 978-1-4503-3442-6. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2808580.2808677>>.

CURTIS, D.; LAWSON, M. Exploring collaborative online learning. **Journal of Asynchronous Learning Network**, v. 5, n. 1, 2001. Cited By 225.

GARCÍA-ZUBÍA, J. et al. Archimedes remote lab for secondary schools. In: **2015 3rd Experiment International Conference (exp.at'15)**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 60–64.

GARCIA-ZUBIA, J. et al. Experience with weblab-deusto. In: **2006 IEEE International Symposium on Industrial Electronics**. [S.l.: s.n.], 2006. v. 4, p. 3190–3195. ISSN 2163-5137.

GERHARDT, T.; SILVEIRA, D. **Métodos de Pesquisa**. [S.l.]: Plageder, 2009. ISBN 9788538600718.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5.ed.. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GILLET, D. et al. Turning web 2.0 social software into versatile collaborative learning solutions. In: **First International Conference on Advances in Computer-Human Interaction**. [S.l.: s.n.], 2008. p. 170–176.

GOMES, L.; BOGOSYAN, S. Current trends in remote laboratories. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 56, n. 12, p. 4744–4756, Dec 2009. ISSN 0278-0046.

GUSTAVSSON, I. Remote laboratory experiments in electrical engineering education. In: **Proceedings of the Fourth IEEE International Caracas Conference on Devices, Circuits and Systems (Cat. No.02TH8611)**. [S.l.: s.n.], 2002. p. I025–1–I025–5.

GUSTAVSSON, I. et al. On objectives of instructional laboratories, individual assessment, and use of collaborative remote laboratories. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 2, n. 4, p. 263–274, Oct 2009. ISSN 1939-1382.

HARDISON, J. L. et al. Deploying interactive remote labs using the ilab shared architecture. In: **2008 38th Annual Frontiers in Education Conference**. [S.l.: s.n.], 2008. p. S2A–1–S2A–6. ISSN 0190-5848.

HARWARD, V. J. et al. The ilab shared architecture: A web services infrastructure to build communities of internet accessible laboratories.

**Proceedings of the IEEE**, v. 96, n. 6, p. 931–950, June 2008. ISSN 0018-9219.

HERADIO, R. et al. Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis. **Computers & Education**, v. 98, p. 14 – 38, 2016. ISSN 0360-1315. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131516300677>>.

JARA, C. A. et al. Hands-on experiences of undergraduate students in automatics and robotics using a virtual and remote laboratory. **Computers & Education**, v. 57, n. 4, p. 2451 – 2461, 2011. ISSN 0360-1315. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131511001515>>.

KALÚZ, M. et al. A flexible and configurable architecture for automatic control remote laboratories. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 8, n. 3, p. 299–310, July 2015. ISSN 1939-1382.

LIMA, J. P. C. de. **DESENVOLVIMENTO DE SERVIDORES PARA LABORATÓRIOS REMOTOS BASEADO NO PARADIGMA DE DISPOSITIVOS INTELIGENTES**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

LOWE, D. Mools: Massive open online laboratories: An analysis of scale and feasibility. In: **2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–6.

LOWE, D. et al. **Labshare: Towards cross- Institutional laboratory sharing**. [S.l.: s.n.], 2011. 453-467 p. Cited By 11.

MA, J.; NICKERSON, J. V. Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. **ACM Comput. Surv.**, ACM, New York, NY, USA, v. 38, n. 3, set. 2006. ISSN 0360-0300. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1132960.1132961>>.

MACDONALD, J. Assessing online collaborative learning: process and product. **Computers & Education**, v. 40, n. 4, p. 377 – 391, 2003. ISSN 0360-1315. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131502001689>>.

MENDES, L. A. et al. Experiment lab server architecture: A web services approach to supporting interactive labview-based remote experiments under mit's ilab shared architecture. In: **2016 13th International Conference on**

**Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 293–305.

MHIRI, R. et al. Implementation of laboratory at distance (lad): Specific considerations and recommendations. In: **2013 7th IEEE International Conference on e-Learning in Industrial Electronics (ICELIE)**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 52–56.

MOSTERMAN, P. J. et al. Virtual engineering laboratories: Design and experiments. **Journal of Engineering Education**, Blackwell Publishing Ltd, v. 83, n. 3, p. 279–285, 1994. ISSN 2168-9830. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/j.2168-9830.1994.tb01116.x>>.

MUJKANOVIC, A. et al. Impact of students' preferences on the design of online laboratories. In: **2015 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 823–826. ISSN 2165-9559.

NERGUIZIAN, V. et al. Lab@home for analog electronic circuit laboratory. In: **2012 6th IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics (ICELIE)**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 110–115.

NICKERSON, J. V. et al. A model for evaluating the effectiveness of remote engineering laboratories and simulations in education. **Computers & Education**, v. 49, n. 3, p. 708 – 725, 2007. ISSN 0360-1315. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131505001739>>.

OLIVEIRA, M. D. **COMO FAZER PESQUISA QUALITATIVA**. [S.l.]: MARLY DE OLIVEIRA, 2007. ISBN 9788574099545.

ORDUÑA, P. et al. Towards federated interoperable bridges for sharing educational remote laboratories. **Computers in Human Behavior**, v. 30, p. 389 – 395, 2014. ISSN 0747-5632. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563213001416>>.

ORDUÑA, P. et al. Sharing laboratories across different remote laboratory systems. In: **2012 IEEE 12th International Conference on Advanced Learning Technologies**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 493–494. ISSN 2161-3761.

ORDUÑA, P. et al. Labsland: A sharing economy platform to promote educational remote laboratories maintainability, sustainability and adoption. In: **2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–6.

ORDUÑA, P. et al. Generic integration of remote laboratories in learning and content management systems through federation protocols. In: **2013**

**IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 1372–1378. ISSN 0190-5848.

ORDUÑA, P. et al. An extensible architecture for the integration of remote and virtual laboratories in public learning tools. **IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje**, v. 10, n. 4, p. 223–233, Nov 2015. ISSN 1932-8540.

**QEDU. Matrículas e Infraestrutura - QEDu**. aug 2017. Disponível em: <<http://qedu.org.br/brasil/censo-escolar?year=2016&dependence=0&localization=0&item=>>.

RAMOS, S. et al. Hands-on and virtual laboratories to undergraduate chemistry education: Toward a pedagogical integration. In: **2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–8.

RODRIGUEZ-GIL, L. et al. Towards new multiplatform hybrid online laboratory models. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, PP, n. 99, p. 1–1, 2017. ISSN 1939-1382.

RYU, H.; PARSONS, D. Risky business or sharing the load? – social flow in collaborative mobile learning. **Computers & Education**, v. 58, n. 2, p. 707 – 720, 2012. ISSN 0360-1315. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131511002363>>.

SALZMANN, C. et al. The smart device specification for remote labs. In: **Proceedings of 2015 12th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 199–208.

SANCRISTOBAL, E. et al. Widget and smart devices. a different approach for online learning scenarios. In: **2013 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 808–812. ISSN 2165-9559.

SCOTT, K.; BENLAMRI, R. Context-aware services for smart learning spaces. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 3, n. 3, p. 214–227, July 2010. ISSN 1939-1382.

SILVA, J. B. da; BILESSIMO, S. M. S.; SILVA, K. C. N. da. A estratégia de integração de tecnologia na educação do grupo de trabalho em experimentação remota móvel (gt-mre). **Revista Tecnologias na Educação**, <http://tecedu.pro.br/wp-content/uploads/2016/09/Art1-ano8-vol17-dez2016.pdf>, v. 17, p. 1–14, Dec 2016.

SIMÃO, J. P. S. **RELLE: SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE EXPERIMENTOS REMOTOS**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

SIMÃO, J. P. S. et al. A remote lab for teaching mechanics. In: **2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 176–182.

TAWFIK, M. et al. Defining the critical factors in the architectural design of remote laboratories. **IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje**, v. 10, n. 4, p. 269–279, Nov 2015. ISSN 1932-8540.

TAWFIK, M. et al. Virtual instrument systems in reality (visir) for remote wiring and measurement of electronic circuits on breadboard. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 6, n. 1, p. 60–72, Jan 2013. ISSN 1939-1382.

TORRE, L. D. L.; SÁNCHEZ, J.; DORMIDO, S. What remote labs can do for you. **Physics Today**, v. 69, n. 4, p. 48–53, 2016.

VIEGAS, C. et al. Improving students experimental competences using simultaneous methods in class and in assessments. In: **Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality**. New York, NY, USA: ACM, 2014. (TEEM '14), p. 125–132. ISBN 978-1-4503-2896-8. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2669711.2669890>>.

WEISER, M. The computer for the 21st century. **Scientific American**, v. 265, p. 94–104, 1991.

ZUTIN, D. G. et al. Lab2go - a repository to locate educational online laboratories. In: **IEEE EDUCON 2010 Conference**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1741–1746. ISSN 2165-9559.

ZUTIN, D. G.; MUJKANOVIC, A.; AUER, M. Simplifying the implementation of educational online laboratories. In: **2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–3. ISSN 0190-5848.