

José Pedro Schardosim Simão

**MODELO PARA REGISTRO DE DADOS DE EXPERIÊNCIA DE
APRENDIZAGEM EM LABORATÓRIOS REMOTOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Tecnologias da Informação e Comunicação.

Orientador: Prof. João Bosco da Mota Alves, Dr.

Coorientador: Prof. Juarez Bento da Silva, Dr.

Araranguá

2018

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

Simão, José Pedro ScharDOSim

Modelo para Registro de Dados de Experiência de
Aprendizagem em Laboratórios Remotos / José Pedro
ScharDOSim Simão ; orientador, João Bosco da Mota
Alves, coorientador, Juarez Bento da Silva, 2018.
113 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós
Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação,
Araranguá, 2018.

Inclui referências.

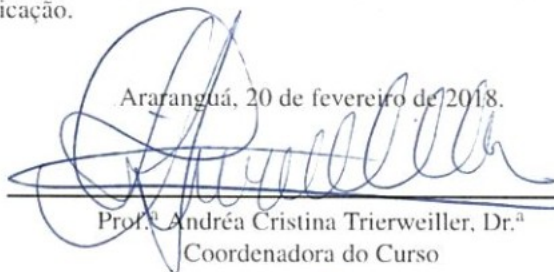
1. Tecnologias da Informação e Comunicação. 2.
laboratórios remotos. 3. experiência de
aprendizagem. 4. metadados. I. Alves, João Bosco da
Mota . II. Silva, Juarez Bento da. III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de
Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e
Comunicação. IV. Título.

José Pedro Schardosim Simão

MODELO PARA REGISTRO DE DADOS DE EXPERIÊNCIA DE APRENDIZAGEM EM LABORATÓRIOS REMOTOS

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de “Mestre em Tecnologias da Informação e Comunicação”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação.

Araranguá, 20 de fevereiro de 2018.




Prof.ª Andréa Cristina Trierweiler, Dr.ª
Coordenadora do Curso

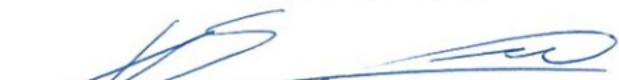
Banca Examinadora:



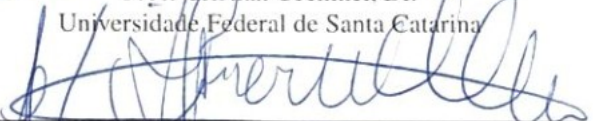
Prof. João Bosco da Mota Alves, Dr.
Orientador



Prof. Alexandre Leopoldo Gonçalves, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina
(videoconferência)



Prof. Cristian Cechinel, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Ricardo Jorge Guedes da Silva Nunes da Costa, Dr.
Instituto Politécnico do Porto
(videoconferência)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família por ter me ensinado a dar valor à educação, pela liberdade que sempre me foi dada e pela confiança e apoio incondicional.

À minha mãe, Gorete, pela sensatez e amor, e por ser a melhor mãe do mundo. Ao meu pai, Pedro, que me ensinou de uma maneira difícil o valor do trabalho e do esforço, e às minhas irmãs Paola e Patrícia, pelo carinho e suporte, vocês foram meus braços direito e esquerdo sempre que precisei.

Ao tio Adão, por me apresentar a computação e por ter me inspirado a continuar estudando, sendo o primeiro da minha família a completar o ensino superior. À tia Neila, tio Hilário e à tia Soraia, agradeço imensamente por torcerem por mim durante toda essa jornada e comemorem junto comigo a cada vitória. O apoio que cada um de vocês me deu foi essencial para que eu tenha chego aonde cheguei.

A todos os meus professores e escolas em que estudei desde as séries iniciais pelo incentivo a ir em busca dos meus sonhos.

À Universidade Federal de Santa Catarina, que me permitiu mais uma vez ter acesso à educação pública e de qualidade sem ter de me deslocar a um grande centro, e aos colegas, professores e técnicos do PPGTIC, com quem eu compartilhei os últimos dois anos.

Aos amigos do Laboratório de Experimentação Remota (RExLab), pelo companheirismo e trabalho em equipe. Sou extremamente grato pelos 6 anos que pude colaborar com o grupo, e por tudo que aprendi com vocês.

Aos meus orientadores, Prof. João Bosco da Mota Alves e Prof. Juares Bento da Silva, pelo suporte e por todas as oportunidades que me foram proporcionadas.

Ao Prof. Hamadou Saliah-Hassane e ao Departamento de Ciência e Tecnologia da Université TÉLUQ, por terem me recebido tão bem e feito com que eu me sentisse em casa mesmo do outro lado do mundo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado que me foi concedida.

Ao Departamento de Relações Exteriores, Comércio e Desenvolvimento (DFTAD) do Governo do Canadá pela bolsa de mobilidade que me foi concedida por meio do Programa Futuros Líderes nas Américas (ELAP).

"Nós só conseguimos ver um pouco do futuro, mas o suficiente para perceber que há muito a ser feito".
(Alan Turing, 1950)

RESUMO

Os laboratórios remotos, ferramentas tecnológicas que mediam a realização de atividades experimentais utilizando equipamentos reais por meio de dispositivos computacionais, têm sido frequentemente utilizados como complemento às práticas de experimentação tradicionais ou como alternativa às atividades presenciais em laboratório. A utilização de laboratórios remotos tem se popularizado em projetos desenvolvidos no ensino básico e superior em disciplinas relacionadas à ciência, engenharia e tecnologia, consequentemente gerando um grande volume de dados que podem ser analisados de experiência de aprendizagem. Utilizando a Experience API (xAPI), uma experiência de aprendizado é registrada em um banco de dados como um statement utilizando o modelo 'ator executa uma ação em um objeto'. Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo propor um modelo para o registro de experiências de aprendizagem em ambientes de experimentação suportados por laboratórios remotos, baseado na especificação xAPI. Inicialmente, foi definido um vocabulário geral e específico para registro de atividades em laboratórios remotos. Então, foi desenvolvido um protótipo utilizando o sistema de gerenciamento de laboratórios remotos RELLE, integrando um conjunto de laboratórios à xAPI, utilizando o vocabulário definido anteriormente. Foi desenvolvido ainda no RELLE suporte à utilização de laboratórios remotos com um propósito pedagógico específico, também integrado à xAPI, e utilizando um vocabulário complementar. Os dados gerados pela utilização dos laboratórios são salvos em uma aplicação de código aberto que valida e salva cada statement gerado. O modelo descrito neste trabalho pode ser aplicado em diferentes plataformas de laboratórios remotos, e os dados gerados utilizados com diferentes propósitos, sejam eles pedagógicos, administrativos ou técnicos.

Palavras-chave: laboratórios remotos, experiência de aprendizagem, mineração de dados educacionais, Experience API

ABSTRACT

Online laboratories, technological tools that allow the performance of experimental activities through computational devices, have often been used as a complement to traditional experimentation practices or as an alternative to face-to-face laboratory activities. The use of remote laboratories has become popular in projects developed in primary, secondary and higher education in disciplines related to science, engineering and technology, consequently generating a large volume of data that can be analyzed to verify patterns of learning experience. Using the Experience API (xAPI), a learning experience registered in a statement, in which an 'actor performs an action on an object'. In this context, this work aims to propose a model for the recording of learning experiences in experimental environments supported by remote laboratories, based on the xAPI specification. Initially, a general and specific vocabulary was defined to record activities in remote laboratories. Then, a prototype was developed using the remote labor management system RELLE, integrating a set of laboratories to xAPI, using the previously defined vocabulary. An environment was also developed in RELLE that supports the use of a remote laboratory with a specific pedagogical purpose, also integrated to the xAPI, and using a complementary vocabulary. The data generated by the use of the laboratories is saved in an open source application that validates and saves each generated statement. The model described in this work can be applied in different platforms of remote laboratories, and the generated data used for different purposes, be they pedagogical, administrative or technical.

Keywords: remote laboratories, learning experience, educational data mining, Experience API

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Estrutura da Pesquisa e Interdisciplinaridade	27
Figura 2	Classificação de laboratórios de acordo com a localização e a natureza	31
Figura 3	Visão geral da arquitetura de um laboratório remoto	34
Figura 4	Perfil de Aplicação do Projeto Eprints	47
Figura 5	Hierarquia de elementos do padrão IEEE LOM	48
Figura 6	Extensão do grupo de metadados <i>Educational</i>	50
Figura 7	Modelo generalizado de integração do SCORM a um AVA	53
Figura 8	Esquema simplificado de um <i>statement</i> xAPI	55
Figura 9	Rede semântica de um modelo de agentes baseado em FOAF	56
Figura 10	Rede semântica de um modelo de verbo	57
Figura 11	Exemplo de <i>statement</i>	58
Figura 12	Rede semântica de um modelo de <i>statement</i>	59
Figura 13	Relação entre vocabulários, perfis e receitas	62
Figura 14	Fluxo dos delineamentos da pesquisa	67
Figura 15	Arquitetura do Modelo	69
Figura 16	Diagrama de Sequência do Acesso a um Laboratório	70
Figura 17	Diagrama de Sequência do Controle de um Laboratório Baseado em <i>Smart Device</i>	72
Figura 18	Exemplo da descrição de um ator	72
Figura 19	Exemplo de laboratório como ator	73
Figura 20	Exemplo de objeto do tipo atividade	74
Figura 21	Exemplo de objeto do tipo agente	75
Figura 22	Exemplo de contexto	75
Figura 23	Arquitetura do RELLE	84
Figura 24	Interface de acesso a um laboratório	85
Figura 25	Interface de acesso de experimentos	86
Figura 26	Interface de Criação de Experimentos	86
Figura 27	Diagrama de estado de máquina do LIS	88
Figura 28	Instalação do Learning Locker	90
Figura 29	<i>Statement</i> enviado no laboratório Painel CA	92
Figura 30	Número de <i>statements</i> registrados	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Tipos de metadados	41. .
Quadro 2	Metadados Apresentados nos Trabalhos Analisados	43
Quadro 3	Comparativo entre Padrões de Interoperabilidade de Dados em Aplicações Educacionais	63. .
Quadro 4	Relação dos Verbos do Modelo	73.
Quadro 5	Tipos de Atividade	74..
Quadro 6	Caso de Uso 01: Estudante Acessou um Laboratório	76
Quadro 7	Caso de Uso 02: Estudante Inicializou um Laboratório	77
Quadro 8	Caso de Uso 03: Estudante Enviou um Comando para um Laboratório	78. . . .
Quadro 9	Caso de Uso 04: Laboratório Retornou Valor para o Estudante	79
Quadro 10	Caso de Uso 05: Estudante Saiu do Laboratório	80
Quadro 11	Caso de Uso 06: Estudante Abandonou a Sessão	81
Quadro 12	Relação dos verbos utilizados na interface de experimento . .	87
Quadro 13	Funções elaboradas para criação dos <i>statements</i>	91
Quadro 14	Trabalhos Analisados	109.
Quadro 15	Modelo de Dados	111
Quadro 16	Descrição do verbo ' <i>launched</i> '	113
Quadro 17	Descrição do verbo ' <i>initialized</i> '	113
Quadro 18	Descrição do verbo ' <i>exited</i> '	113
Quadro 19	Descrição do verbo ' <i>abandoned</i> '	114
Quadro 20	Descrição do verbo ' <i>viewed</i> '	114
Quadro 21	Descrição do verbo ' <i>exported</i> '	114
Quadro 22	Descrição do verbo ' <i>uploaded</i> '	114
Quadro 23	Descrição do verbo ' <i>set</i> '	115
Quadro 24	Descrição do verbo ' <i>moved</i> '	115
Quadro 25	Descrição do verbo ' <i>returned</i> '	115

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ADL	<i>Advanced Distributed Learning</i>
API	<i>Application Program Interface</i>
AAAS	<i>Activities Automatic Assessment System</i>
AVA	<i>Ambiente Virtual de Aprendizagem</i>
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
EDM	<i>Educational Data Mining</i>
FCFS	<i>First Come First Served</i>
GT-MRE	<i>Grupo de Trabalho em Experimentação Remota Móvel</i>
GOLC	<i>Global Online Laboratory Consortium</i>
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IFI	<i>Identificador Funcional Inverso</i>
IRI	<i>Internationalized Resource Identifier</i>
KDD	<i>Knowledge Discovery in Databases</i>
L@D	<i>Laboratoires à distance</i>
LOM	<i>Learning Object Metadata</i>
LIS	<i>Laboratory Instances Scheduling Service</i>
LMS	<i>Learning Management System</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MRE	<i>Mobile Remote Experimentation</i>
MVC	<i>Model-View-Controller</i>
OBAA	<i>Objetos de Aprendizagem Baseados em Agentes</i>
OWL	<i>Web Ontology Language</i>
OWL-DL	<i>OWL Description Language</i>
RExLab	<i>Laboratório de Experimentação Remota</i>
RLMS	<i>Remote Labs Learning Environment</i>
SCORM	<i>Sharable Content Object Reference Model</i>
SBC	<i>Single-Board Computer</i>
SPRL	<i>Specific Purpose Remote Laboratories</i>
STEM	<i>Science, Technology, Engineering, Mathematics</i>
TDIC	<i>Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação</i>
TCP	<i>Transmission Control Program</i>

W3C *World Wide Web Consortium*
XML *Extensible Markup Language*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	22
1.2 PROBLEMA	24
1.3 OBJETIVOS	24
1.3.1 Objetivo Geral	24
1.3.2 Objetivos Específicos	25
1.4 JUSTIFICATIVA	25
1.5 MOTIVAÇÃO	26
1.6 ADERÊNCIA AO PPGTIC	27
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO	28
2 REFERENCIAL TEÓRICO	29
2.1 TRABALHOS CORRELATOS	29
2.2 LABORATÓRIOS ONLINE	30
2.2.1 Classificação	30
2.2.1.1 Laboratórios Virtuais	31
2.2.1.2 Laboratórios Híbridos	31
2.2.1.3 Laboratórios Remotos	32
2.2.2 Gerenciamento, Escalabilidade e Interoperabilidade	34
2.2.3 Sistemas de Gerenciamento de Laboratórios Remotos	36
2.2.3.1 WebLab-Deusto	36
2.2.3.2 iLab Shared Architecture	37
2.2.3.3 Labshare Sahara	38
2.3 REPRESENTAÇÃO DA INFORMAÇÃO E DO CONHECIMENTO 39	
2.3.1 Metadados e Web Semântica	40
2.3.1.1 Metadados na Descrição de Laboratórios Remotos	42
2.3.2 Interoperabilidade de Dados em Aplicações Educacionais ...	45
2.3.2.1 Dublin Core	46
2.3.2.2 IEEE Learning Object Metadata	47
2.3.2.3 OBAA	49
2.3.2.4 IEEE Standard for Learning Technology	49
2.3.2.5 SCORM	52
2.3.2.6 Experience API	54
2.3.2.7 Comparativo entre Padrões	61
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	65
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	65
3.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA E CARACTERIZAÇÃO DA CON- TRIBUIÇÃO	66

3.3 ETAPAS DA PESQUISA	66
4 MODELO PROPOSTO	69
4.1 VISÃO GERAL	69
4.2 CENÁRIOS DE APLICAÇÃO	70
4.2.1 Laboratórios Remotos Genéricos	70
4.2.2 Smart Devices	71
4.3 MODELO DE DADOS	72
4.3.1 Atores	72
4.3.2 Verbos	73
4.3.3 Objeto	74
4.3.4 Contexto	75
4.4 CASOS DE USO	76
5 PROTÓTIPO	83
5.1 RELLE	83
5.1.1 Módulo RLMS	83
5.1.2 Módulo LIS	87
5.1.3 Módulo Laboratório	88
5.2 LEARNING RECORD STORE	89
5.3 INTEGRAÇÃO À EXPERIENCE API	90
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
REFERÊNCIAS	95
APÊNDICE A -- Revisão Sistemática	109
APÊNDICE B -- Modelo de Dados	111
APÊNDICE C -- Definição dos Verbos	113

1 INTRODUÇÃO

Com o advento da internet, a partir da especificação do protocolo TCP na década de 70¹ e sua adoção na década de 80, se tornou possível a educação online, resultando em uma completa quebra de paradigmas nos modelos de ensino e aprendizagem.

As Novas Tecnologias da Informação e Comunicação, ou mais recentemente denominadas Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC), são "tecnologias digitais que auxiliam a comunicação e o tratamento da informação", como por exemplo computadores, tablets e smartphones (ALMEIDA; VALENTE, 2015, p. 351).

Estas tecnologias permitem a realização de tarefas outrora impensáveis, como a execução de programas ou a comunicação com computadores localizados a milhares de quilômetros de distância. A partir do conceito de *e-learning*, criado na década de 90, a tecnologia passa a ser incluída em definitivo no processo de aprendizagem, seja como complemento à sala de aula tradicional ou como alternativa a esta (YESA, 2015).

O perfil do aluno que frequenta hoje as escolas e universidades é figura indissociável das TDIC. Dentre os jovens de 9 a 17 anos, 68% acessa a Internet pelo menos uma vez ao dia, 85% utiliza celulares para acessar à internet e 47% utiliza redes sociais mais de uma vez por dia. Contudo, estes números caem um pouco quando falamos do uso ligado à educação; apenas 29% dos jovens usa internet para fazer pesquisas escolares ao menos uma vez por semana (COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL, 2016).

Apesar destas tecnologias não serem utilizadas na educação na mesma grandeza que no setor bancário por exemplo, e continuarem atualmente, em grande parte, sendo utilizadas como apêndice da sala de aula tradicional, elas têm o potencial de promover a realização de atividades que contribuem para o processo de construção do conhecimento de aluno de maneira significativa (ALMEIDA; VALENTE, 2012; VALENTE, 2013).

No entanto, as escolas públicas no Brasil têm sérios problemas de infra-estrutura: mesmo que mais de metade das escolas tenham acesso à internet (68%, sendo 56% conexão de banda larga), apenas 42% possuem um laboratório de informática, com uma média de 7,4% computadores por escola para acesso ao aluno (INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA, 2016). Os diretores e coordenadores pedagógicos consideram “aumentar o número de computadores por aluno” e “desenvolver novas práticas de ensino envolvendo o uso de computadores e a internet” ações prioritárias para a integração das TIC na escola (COMITÊ GESTOR DA

¹INTERNET ENGINEERING TASK FORCE (1974)

INTERNET NO BRASIL, 2017).

Contudo, uso das TDIC na educação não está limitado aos muros da escola. A internet permite que os alunos realizem atividades em casa, como complemento às aulas presenciais, ou ainda obter um diploma totalmente pela internet. As tecnologias podem ser utilizadas de forma síncrona, em salas de aula virtuais como no caso dos cursos a distância, ou assíncrona, quando os recursos ficam à disposição do aluno e podem ser utilizados em diferentes espaços e horários. Apesar de o uso síncrono promover uma maior interação entre os atores do processo de aprendizagem, o uso assíncrono permite que o usuário utilize os recursos quando lhe for mais conveniente.

Além disso, a utilização de tecnologias favorece o protagonismo do aluno no processo de ensino e aprendizagem, o que é um grande desafio quando consideramos o quão heterogêneas são as formas de aprendizagem e a visão de mundo de cada aluno (TAROUCO; MORO; ESTABEL, 2003; MARTINS, 2014).

Ao tratarmos mais especificamente do ensino das disciplinas STEM (Ciências, Tecnologia, Engenharia e Matemática), o uso de tecnologias se torna ainda mais importante. A experimentação tem um papel chave, pois a formação do pensamento crítico e investigativo dos alunos nestas disciplinas se dá por meio de atividades práticas. As aulas laboratoriais aproximam o aluno do seu cotidiano, melhoram a compreensão da teoria e desenvolvem habilidades como o manuseio de instrumentos aguçando a sua curiosidade, o que leva a uma aprendizagem mais significativa. Neste cenário, a realização de atividades experimentais é muitas vezes necessariamente mediada por ferramentas tecnológicas, sejam estas simuladores, laboratórios remotos ou os próprios equipamentos em laboratórios tradicionais (HECK et al., 2016; MOREIRA; PENIDO, 2009).

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Os laboratórios online, ferramentas tecnológicas que mediam a realização de atividades experimentais por meio de dispositivos computacionais, têm sido frequentemente utilizados como complemento às práticas de experimentação tradicionais e em outros casos, como cursos a distância, como alternativa às atividades presenciais em laboratório. Esses recursos permitem que alunos e professores conduzam práticas laboratoriais de forma mais flexível e interativa, oferecendo experiências diferentes considerando as várias configurações possíveis, e tendo o mesmo potencial de aprendizagem que laboratórios tradicionais (BRINSON, 2015).

Os laboratórios online são normalmente classificados em (1) laborató-

rios virtuais, baseados em modelos matemáticos e simulação acessados pela internet, (2) laboratórios remotos, onde um dispositivo real é controlado pelo usuário por meio da internet, e (3) laboratórios híbridos, que apresentam características comuns a ambos modelos anteriores (AUER et al., 2003).

Os primeiros relatos acerca do desenvolvimento e utilização de laboratórios remotos têm mais de duas décadas. Machotka, Nafalski e Nedě (2011) afirmam que a primeira implementação de um robô operável remotamente pela internet foi realizada em 1994, parte do Mercury Project. Bohus et al. (1996) apresentam um braço robótico remoto controlado por meio da internet, e um cliente que incluía streaming de vídeo e ferramentas colaborativas.

Já Henry (1998) descreveu um conjunto de experimentos de um laboratório remoto de engenharia química, que permitiam controle em lote e interativo do experimento através de uma página web. Predko (1999, p. 515), por sua vez, apresentou um depurador remoto para o microcontrolador 8051, que foi primeiro experimento remoto desenvolvido no RExLab em 1997 e descrito por Wisintainer (1999), e o descreveu naquele momento como “um dos usos mais interessantes da internet”.

Desde então, a utilização desta tecnologia tem se popularizado e projetos utilizando laboratórios remotos têm sido desenvolvidos no ensino primário (ANTONIO et al., 2016), secundário (SIMÃO et al., 2016) e terciário (ZUBÍA; ALVES, 2011; MARQUES et al., 2014), em disciplinas relacionadas à ciência, engenharia e tecnologia. Em levantamento realizado pelo projeto Go-Lab, Tsourlidaki e Zervas (2014) apontam que dentre os principais portais e federações no mundo existiam então cerca de 1565 laboratórios virtuais e remotos.

Diversos projetos têm sido desenvolvidos com o objetivo de desenvolver e popularizar o suporte a laboratórios remotos. Podem ser destacadas algumas iniciativas no meio acadêmico: iLab (HARWARD et al., 2008), LabShare (LOWE; MACHET; KOSTULSKI, 2012), VISIR (GUSTAVSSON et al., 2007) e WebLab-Deusto (ORDUÑA et al., 2011), já outras, como LabsLand (ORDUÑA et al., 2016) e Labicom (TITOV et al., 2015), são empresas criadas para fornecer serviços relacionados a laboratórios remotos. Do mesmo modo, outras iniciativas focaram no desenvolvimento de repositórios que indexem recursos disponíveis em diferentes instituições, como Lab2Go (ŽUTIN et al., 2010) e LiLa (RICHTER; TETOUR; BOEHRINGER, 2011).

Além disso, laboratórios remotos foram considerados como uma das cinco principais mudanças em 100 anos de Educação em Engenharia pela Edição Especial de 100 anos da IEEE Proceedings, no que diz respeito ao impacto das Tecnologias da Informação e Comunicação (FROYD; WANKAT; SMITH, 2012).

1.2 PROBLEMA

Com a popularização dos laboratórios remotos, um número considerável de instituições de ensino tem utilizado a ferramenta como suporte às atividades de experimentação em disciplinas STEM. Consequentemente, um grande volume de dados é gerado a partir da utilização dos laboratórios.

A coleta de dados permite que os sistemas de aprendizagem implementem os processos *Learning Analytics* (LA), que são úteis para medir, analisar e informar sobre os alunos, a fim de otimizar sua aprendizagem (CLEMENTE et al., 2018). Há neste sentido uma inclinação da indústria e de entidades que emitem normas técnicas, como os grupos IEEE: P1876 - *Networked Smart Learning Objects for Online Laboratories*² e ADB - *Industry Connections Actionable Data Book*³, em indicar a utilização da especificação Experience API (xAPI) para registrar experiências de aprendizagem quando esta é mediada por ferramentas tecnológicas.

Embora a literatura sobre utilização de mineração de dados na educação e ferramentas de avaliação eletrônica (*electronic assessment*) seja extensa, não existem muitos estudos quando a avaliação diz respeito à rede de laboratórios remotos. Mesmo quando autores avaliam laboratórios remotos, referem-se em sua maioria a estudos sobre sua eficácia, ou outras características específicas, e não testam ou acompanham a avaliação da aprendizagem dos alunos realizado com laboratórios remotos (YESA, 2015).

Portanto, este trabalho se propõe a explorar a seguinte pergunta de pesquisa: “como registrar experiências de aprendizagem em ambientes suportados por laboratórios remotos?”

1.3 OBJETIVOS

Esta seção apresenta o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.3.1 Objetivo Geral

Propor um modelo para o registro de dados de experiência de aprendizagem em ambientes de experimentação suportados por laboratórios remotos, baseado na especificação Experience API (xAPI).

²<http://sites.ieee.org/sagroups-edusc/>

³<http://standards.ieee.org/develop/indconn/adb/index.html>

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar as diferentes especificações técnicas e padrões para descrição de objetos e aplicações educacionais virtuais.
- Estudar as diferentes especificações técnicas e arquiteturas de laboratórios remotos.
- Propor um vocabulário para armazenamento de experiências de aprendizagem em laboratórios remotos.
- Descrever cenários de aplicação do modelo proposto
- Descrever casos de uso utilizando registrando interações a partir do modelo proposto.
- Registrar atividades em um laboratório remoto através da Experience API.

1.4 JUSTIFICATIVA

O Laboratório de Experimentação Remota (RExLab) foi fundado em 1997 no Departamento de Informática e Estatística do Centro Tecnológico (INE/CTC), e está localizado desde 2010 no Campus Araranguá da Universidade Federal de Santa Catarina. O grupo de pesquisa foi um dos precursores no desenvolvimento de laboratórios remotos no Brasil, e vêm promovendo continuamente iniciativas de integração de tecnologia na educação com foco no desenvolvimento e utilização de tecnologias abertas e de baixo custo.

A partir do chamada de Programas de P&D Temáticos em EAD, foi estabelecida em 2014 a parceria do RExLab com a Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) e com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), criando o Grupo de Trabalho em Experimentação Remota Móvel (GT-MRE). O GT-MRE é parte do InTecEdu, o Programa de Integração de Tecnologias na Educação do RExLab, que vem sendo conduzido a partir de projetos de pesquisa e extensão desenvolvidos desde 2008.

O Grupo foi criado com o objetivo de desenvolver e implementar uma plataforma integrando laboratórios remotos e ambientes virtuais de ensino e aprendizagem, disponibilizando para escolas e universidades conteúdos educacionais online acessados por dispositivos móveis ou convencionais. Usando uma arquitetura baseada em hardware e software aberto, o projeto concentra-se em VLEs e laboratórios remotos facilmente replicáveis de baixo custo, aplicáveis em diferentes domínios do conhecimento e níveis educacionais.

Desde o estabelecimento do GT-MRE, um total de 12 laboratórios remotos e 3 instâncias foram desenvolvidos, além de 5 laboratórios de instituições parceiras que foram disponibilizados por meio do RELLE, o sistema de gerenciamento de laboratórios remotos desenvolvido no projeto. Como parte do projeto, foram realizadas intervenções em 6 cursos experimentais em 3 instituições de ensino superior localizadas no sul de Santa Catarina e São Paulo, e 11 classes de ensino básico e técnico, em 4 instituições públicas de educação básica e tecnológica localizadas em Santa Catarina e Minas Gerais, impactando cerca de 1500 alunos, como nas ações do projeto descritas nos trabalhos de Nicolete (2016), Antonio (2016) e Heck (2017).

Em 2017, o GT-MRE recebeu um prêmio como o melhor laboratório controlado remotamente do *Global Online Laboratory Consortium* (GOLC), um consórcio composto por 18 universidades como o *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), a Universidade de Queensland e a Universidade do Porto.

As atividades desenvolvidas pelo grupo geram uma grande quantidade de dados sobre os usuários, seu comportamento e resultados quando utilizando os laboratórios remotos. Estes dados poderiam ser utilizados para verificar aspectos relacionados tanto ao processo de ensino e aprendizagem quanto à administração dos laboratórios - uso, manutenção, eficiência, entre outros. Contudo, nenhum modelo tem sido utilizado para armazenar estes dados de maneira estruturada e permitir que estes sejam explorados.

1.5 MOTIVAÇÃO

A motivação para o desenvolvimento desta pesquisa parte primeiramente da minha atuação no Laboratório de Experimentação Remota da UFSC, onde por 6 anos trabalhei no desenvolvimento de tecnologias educacionais focadas principalmente em experimentação remota. Durante o projeto GT-MRE, presenciei a expansão e a profissionalização da infraestrutura e dos serviços oferecidos pelo laboratório à UFSC e a outras instituições de ensino no Brasil e no mundo.

Durante este período, mais especificamente no primeiro ano do mestrado, estagiei por 6 meses na Université TÉLUQ, um instituição pública de educação à distância da província de Québec, no Canadá, como parte do Programa Futuros Líderes nas Américas do governo canadense.

No decorrer deste estágio, supervisionado pelo Prof. Hamadou Saliah-Hassane no grupo de pesquisa L@D (*Laboratoires à distance*), passei a integrar dois grupos de trabalho da IEEE: P1876 e ADB. Ambos estão desenvolvendo padrões da IEEE para objetos de aprendizagem digitais que utilizam

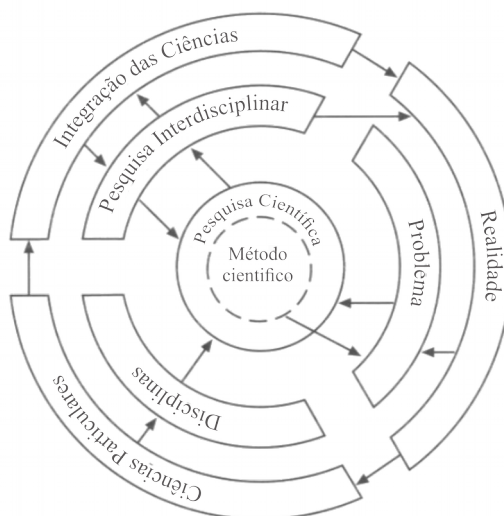
Experience API para registrar experiências de aprendizagem.

Pretendo assim com este estudo contribuir com o trabalho desenvolvido pela comunidade que pesquisa o desenvolvimento e utilização de laboratórios remotos, além de auxiliar na disseminação da Experience API.

1.6 ADERÊNCIA AO PPGTIC

A interdisciplinaridade tem como característica central a integração de resultados de várias disciplinas, tendo duas principais origens: uma interna, que tem por característica essencial uma mudança no sistema das ciências, acompanhado de progresso e organização; e outra externa, caracterizada pela mobilização cada vez mais extensa do saber e a multiplicação de especialistas (TAMAYO 2004, p.69). O relacionamento da interdisciplinaridade com a estrutura da pesquisa científica é descrito na Figura 1.

Figura 1 – Estrutura da Pesquisa e Interdisciplinaridade



Fonte: Traduzido de Tamayo (2004, p.69)

Estudos interdisciplinares “integram informações, dados, técnicas, ferramentas, perspectivas, conceitos e/ou teorias de duas ou mais disciplinas ou corpos de conhecimento especializados” (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES; NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING; INSTITUTE OF MEDICINE, 2005, p. 29,

tradução do autor).

De acordo com o documento da Área Interdisciplinar da CAPES, estes estudos dão conta de “novos problemas que emergem no mundo contemporâneo, de diferentes naturezas e com variados níveis de complexidade, muitas vezes decorrentes do próprio avanço dos conhecimentos científicos e tecnológicos” (COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR, 2016, p. 9).

Este estudo foi desenvolvido na linha de pesquisa Tecnologia Computacional do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação (PPGTIC), que está voltada justamente ao “desenvolvimento de modelos, técnicas e ferramentas computacionais que apoiem a resolução de problemas complexos de natureza interdisciplinar, em especial nas áreas de educação e gestão” (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2017). Além disso, o tema abordado nesta dissertação converge com outros os trabalhos desenvolvidos no programa, como os apresentados por Heck (2017), Antonio (2016), Nicolete (2016) e Santos (2016), que tratam de soluções que utilizam experimentação remota em diferentes contextos.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação, além da Introdução apresentada neste capítulo, está organizada em outros 5 (cinco) capítulos que abordam os seguintes conteúdos:

O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico, tratando de aspectos ligados à experimentação remota e à descoberta de conhecimento em bases de dados, além do processo de registro de experiências de aprendizagem em sistemas computacionais.

O Capítulo 3 descreve a metodologia utilizada no desenvolvimento e as ferramentas utilizadas na implementação do sistema descrito neste trabalho.

O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos nos experimentos realizados, e a discussão desses resultados.

O Capítulo 5 trata da validação do modelo, sua utilização em um RLMS e diferentes laboratórios remotos.

O Capítulo 6 trás as considerações finais, verificando se os objetivos propostos foram alcançados e indicando aspectos a serem consideradas em trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta o referencial teórico sobre os principais conceitos abordados neste trabalho. A primeira seção apresenta documentos correlatos ao estudo conduzido neste trabalho, seguido por uma seção que trata dos conceitos relacionados aos diferentes tipos de laboratórios, seu desenvolvimento e gerenciamento. A última seção trata do processo de descoberta de conhecimento em bases de dados, e sua aplicação na educação, além de introduzir a Experience API e conceitos acerca do rastreamento e análise de experiências de aprendizagem.

2.1 TRABALHOS CORRELATOS

Broisin, Venant e Vidal (2016) exploram o uso de analíticas de aprendizagem para a conscientização de aprendizagem em laboratórios remotos. Um laboratório remoto sobre ferramentas de virtualização (Lab4CE) foi integrado a uma estrutura de análise de aprendizagem baseada na xAPI e ferramentas de conscientização como comparação social e *reflection-on-action* apresentaram feedback para usuários durante a utilização do experimento. O uso deste sistema é descrito em Venant, Vidal e Broisin (2016a), apresentando os resultados de seu uso em um curso básico de Linux.

Usando a mesma plataforma, Venant et al. (2017) apresentam a aplicação da análise de mineração de padrões sobre a natureza, os relacionamentos e o resultado da execução de comandos enviados pelos alunos para Lab4CE. O seu experimento visou encontrar relacionamentos entre comportamentos do usuário durante situações práticas de aprendizagem e seu desempenho acadêmico.

Wuttke, Hamann e Henke (2015a) descrevem o laboratório remoto GOLDi e seu uso em um laboratório onde o aluno deve encontrar uma máquina de estado finito que possibilite o deslocamento de um elevador remoto de quatro andares, utilizando uma interface virtual como uma unidade de controle. O sistema armazena dados de todo o processo em um LRS fazendo uso da Experience API. A plataforma também foi explorada por Wuttke, Hamann e Henke (2015b), que visa usar dados sobre a experiência de aprendizagem para analisar habilidades de pensamento de ordem superior.

Yesa (2015) apresenta um modelo de avaliação automática de competências em laboratórios remotos através de *learning analytics* e rubricas de aprendizagem. O sistema, AAAS (*Activities Automatic Assessment System*) coleta dados durante a realização de atividades utilizando o laboratório re-

moto VISIR, que são tratados e utilizados para a avaliação de competências práticas e monitoramento do processo de aprendizagem.

2.2 LABORATÓRIOS ONLINE

Laboratórios online podem ser definidos como ferramentas que permitem a condução de experimentos através da internet (AUER et al., 2003). Estas ferramentas diminuem as restrições de tempo e espaço para acesso à infraestrutura laboratorial nas instituições de ensino e garantem ao aluno maior protagonismo e independência na aprendizagem.

Dependendo da localização e natureza da experiência (quão real ou virtual ela é) e do local da realização do experimento pelo usuário, os laboratórios online recebem diferentes classificações:

- Laboratórios remotos são ferramentas baseadas em equipamentos físicos reais, que podem ser controlados remotamente pela internet, permitindo ao usuário configurar atuadores e obter leituras de sensores. Estes laboratórios também são conhecidos como, entre outros termos, experimento remotos, e-labs e weblabs.
- Laboratórios virtuais não utilizam recursos reais, sendo baseados em modelos matemáticos. Alguns autores dividem estes recursos em duas categorias, tratando como laboratórios virtuais apenas os recursos que são acessados pela internet e por múltiplos usuários, e como simulações os recursos acessados localmente pelo usuário.
- Laboratórios híbridos são aqueles compostos por funcionalidades de ambos laboratórios reais e virtuais.

2.2.1 Classificação

Apesar de terem em comum a utilização da tecnologia como meio, os tipos de laboratórios online têm muitas diferenças não só quanto à localização, mas quanto a seu fim, utilização e gerenciamento. A imagem abaixo (Figura 2) apresenta um modelo baseado nas definições de Auer et al. (2003), Bencomo (2004), Zutin et al. (2010) e Rodriguez-Gil et al. (2016).

Figura 2 – Classificação de laboratórios de acordo com a localização e a natureza

		Localização	
		Local	Remoto
Natureza	Real	Laboratório Hands-on	Laboratório Remoto
	Virtual	Laboratório Virtual mono-usuário	Laboratório Virtual multi-usuário

O diagrama apresenta uma matriz 2x2. No topo, o cabeçalho 'Localização' abrange duas colunas: 'Local' e 'Remoto'. À esquerda, o cabeçalho 'Natureza' abrange duas linhas: 'Real' e 'Virtual'.
 - Na interseção de 'Local' e 'Real', está 'Laboratório Hands-on'.
 - Na interseção de 'Remoto' e 'Real', está 'Laboratório Remoto'.
 - Na interseção de 'Local' e 'Virtual', está 'Laboratório Virtual mono-usuário'.
 - Na interseção de 'Remoto' e 'Virtual', está 'Laboratório Virtual multi-usuário'.
 Há dois retângulos cinza com o texto 'Híbrido': um na linha 'Real' entre as colunas 'Local' e 'Remoto', e outro na linha 'Virtual' entre as colunas 'Local' e 'Remoto'.

Fonte: Adaptado de Auer et al. (2003), Bencomo (2004), Zutin et al. (2010) e Rodriguez-Gil et al. (2016)

2.2.1.1 Laboratórios Virtuais

Os laboratórios virtuais utilizam modelos matemáticos para simular os fenômenos estudados, geralmente em uma interface digital baseada no equipamento real de entrada e saída.

Estes laboratórios não requerem espaço físico, e são extremamente flexíveis e escaláveis, se adaptando facilmente às necessidades do professor (RODRIGUEZ-GIL et al., 2016). Além disso, têm baixo custo de desenvolvimento e manutenção, são fáceis de usar e efetivos para explicar conceitos teóricos, possibilitando a demonstração de fenômenos que normalmente não poderiam ser observados em um experimento real (SCHECKLER, 2003; NEDIC; MACHOTKD; NAJHLSK, 2003).

Contudo, muitas vezes devido às limitações de complexidade do modelo, laboratórios virtuais acabam desconsiderando variáveis de ambiente e erro experimental.

2.2.1.2 Laboratórios Híbridos

Laboratórios híbridos são soluções compostas por diferentes tipos de laboratórios. Gomes e Bogosyan (2009) e Rodriguez-Gil et al. (2016) apresentam laboratórios híbridos como laboratórios compostos por elementos reais e virtuais. São exemplos clássicos de laboratórios híbridos a integração de laboratórios remotos em mundos virtuais 3D e jogos digitais (VENANT; VIDAL;

BROISIN, 2016b; ANTONIO et al., 2016; PEÑA-RÍOS et al., 2012; CALLAGHAN et al., 2013).

Geralmente, a abordagem para laboratórios híbridos considera somente casos compostos por laboratórios reais e virtuais, conforme descrito em Boticchio et al. (2015). Contudo, dependendo do cenário de utilização, um laboratório remoto pode ser manipulado usando controles reais locais, como o uso de dispositivos hápticos apresentado por Restivo et al. (2011), por exemplo), sendo então um laboratório híbrido.

2.2.1.3 Laboratórios Remotos

Os laboratórios remotos são ferramentas de hardware e software que permitem manipular remotamente por meio da internet equipamentos utilizados em atividades de experimentação. Diferente dos laboratórios virtuais, os laboratórios remotos utilizam equipamentos reais ao invés de simulações ou vídeos de experimentos.

O acesso e manipulação desses experimentos pode ser feito a partir qualquer dispositivo com acesso à internet, e graças à redução no preço dos smartphones e tablets e às melhorias no acesso às redes móveis surgiu a Experimentação Remota Móvel (MRE, do inglês *Mobile Remote Experimentation*), termo que define a utilização dos princípios da aprendizagem móvel (*M-Learning*) para a utilização de experimentos remotos por meio de dispositivos móveis (SILVA et al, 2014).

De acordo com Gomes e Bogosyan (2009), apesar de os laboratórios remotos serem muito diferentes entre si, podem ser destacados os seguintes componentes que tipicamente são encontrados:

- O experimento em si.
- Dispositivos e equipamentos de instrumentação que permitem o controle do experimento, além de obter resultados da experimentação.
- Um servidor de laboratório que assegurará o controle e monitoramento do experimento, através de atuadores e equipamentos de instrumentação.
- Um servidor que assegurará a conexão entre usuários e o laboratório, normalmente através da Internet.
- Um servidor de vídeo que pode ser usado por usuários remotos para obter um feedback visual e/ou de áudio do estado da experiência.

O hardware de um laboratório remoto normalmente é composto por um conjunto de sensores e atuadores responsáveis por realizar os acionamentos e leituras requisitadas pelo usuário, um microcontrolador ou *single-board computer* (SBC) que media a solicitação do usuário e a executa no circuito. O uso de SBCs tem se popularizado consideravelmente no desenvolvimento de laboratórios remotos, devido ao seu baixo custo comparado aos computadores tradicionais (BERMUDEZ-ORTEGA et al., 2017; DAROS et al., 2015).

O software varia de acordo com as diferentes arquiteturas, mas costuma envolver um servidor, que recebe as solicitações dos usuários e retorna o resultado das leituras, e um cliente que é responsável pela conexão com o servidor e envio das requisições. Modelos como os apresentados por Bermudez-Ortega et al. (2017) e Farah et al. (2015), incluindo a especificação de Smart Devices para laboratórios remotos (SALZMANN et al., 2015a), têm dado preferência à utilização de conexões assíncronas e por meio do protocolo websocket.

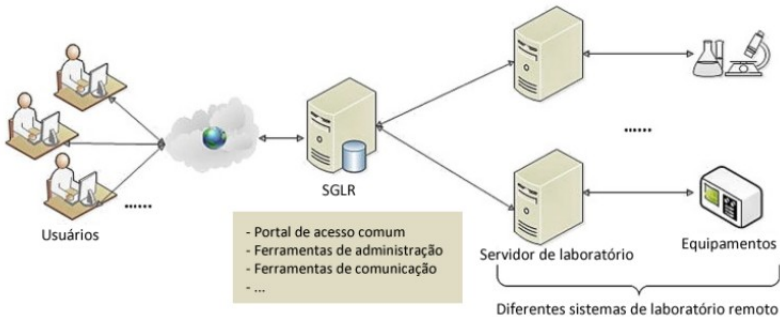
Os usuários geralmente interagem com o laboratório por meio de uma interface web, mas outras interfaces têm sido desenvolvidas, como jogos e mundos virtuais 3D (ANTONIO et al., 2017; CALLAGHAN et al., 2013; GARCÍA-ZUBIA et al., 2010) ou aplicativos para dispositivos móveis (ORDUÑA, 2013). Independente do meio, estas interfaces de usuário permitem ao usuário observar, interagir e controlar o equipamento, bem como visualizar o resultado do experimento.

O acesso do usuário ao experimento costuma ser mediado por um sistema de gerenciamento (RLMS, do inglês *Remote Labs Learning Environment*) que acumula funções comuns a todos os laboratórios remotos, como agendamento, autenticação, autorização e gerenciamento de usuários. Lowe et al. (2016) apresenta um modelo típico de arquitetura de laboratórios remotos (Figura 3).

Orduña (2013) afirma que apesar de todos os laboratórios partilharem um conjunto de funcionalidades (autenticação, autorização, agendamento e/ou fila, entre outras ferramentas administrativas), a maioria dos laboratórios é desenvolvida com o objetivo de disponibilizar um equipamento específico para acesso remoto. Estes laboratórios remotos com funcionalidades específicas são definidos como SPRLs (do inglês *Specific Purpose Remote Laboratories*).

Segundo Gomes et al. (2007), normalmente podemos dividir o desenvolvimento de laboratórios remotos em dois grupos: laboratórios de instalação cara, normalmente SPRLs que se propõe a automatizar um equipamento específico, comuns em controle de processos, e laboratórios de baixo custo, que podem ser replicados sem um impacto severo em termos de custos, comuns em sistemas digitais e experimentação básica em eletrônica.

Figura 3 – Visão geral da arquitetura de um laboratório remoto



Fonte: Adaptado de Lowe et al. (2016), traduzido por Lima (2016)

2.2.2 Gerenciamento, Escalabilidade e Interoperabilidade

O gerenciamento é uma atividade crítica no projeto e desenvolvimento de laboratórios remotos. O provedor do laboratório precisa considerar uma série de fatores que podem influenciar em seu funcionamento:

- **Confiabilidade:** garantia de que o laboratório estará disponível para acesso quando o usuário precisar.
- **Autorização:** garantia de que durante a sessão, o usuário terá acesso exclusivo ao dispositivo sob controle (SIMÃO; COUTINHO; SILVA, 2016).
- **Tolerância a falhas:** garantia de que um erro de configuração do usuário não vai danificar o equipamento (ORDUÑA, 2013).
- **Segurança:** garantia da confidencialidade, integridade, disponibilidade e autenticidade dos dados do usuário e do laboratório (ZACKRISSON; SVAHNBERG, 2008).

E estas garantias acabam por criar um conjunto de funcionalidades comum entre todos os laboratórios remotos, independente de sua finalidade. Com o objetivo de facilitar a replicação e reaproveitamento de código, de acordo com Orduña (2013), o desenvolvimento de laboratórios remotos deve ser dividido em dois blocos: os códigos do laboratório, que compreendem as funções utilizadas para a conexão e manipulação do equipamento, e os códigos de gerenciamento, que são as ferramentas de gestão do laboratório.

Este segundo, conhecido como Sistema de Gerenciamento de Laboratórios Remotos, é descrito na Seção 2.2.3.

A gestão eficiente dos laboratórios influencia diretamente na disponibilidade, e logo, na escalabilidade dos recursos disponíveis. Laboratórios, sejam tradicionais, virtuais ou remotos, devem atender a demanda de um grande número de usuários, considerando o cenário onde em um laboratório são realizados n experimentos, para n disciplinas que atendem n cursos em uma instituição de ensino (ALVES et al., 2016). Contudo, o desafio em se escalar laboratórios remotos é ainda maior visto que estes dependem de recursos físicos que em geral só podem ser utilizados por uma pessoa por vez (KREITER et al., 2017).

O uso de clusters de experimentos semelhantes (instâncias) pode ser uma solução para suportar o uso por um grande conjunto de usuários durante o mesmo período de tempo (GOMES; BOGOSYAN, 2009), funcionalidade esta que já é suportada pelas principais arquiteturas de laboratórios remotos (ORDUÑA, 2013).

Além disso, dado que ambos os laboratórios passam muito tempo ociosos (noites, fins de semana, e férias, por exemplo), se duas instituições de ensino que possuem dois laboratórios remotos os compartilharem, ambas terão quatro laboratórios com custos de serviço similares (ORDUÑA et al., 2013).

Por esse motivo, iniciativas de federação têm sido promovidas com o objetivo de compartilhar laboratórios remotos e práticas relacionadas a estes laboratórios. O Projeto PILAR (*Platform Integration of Laboratories based on the Architecture of VISIR*), atualmente em desenvolvimento, tem o objetivo de promover uma federação de laboratórios remotos VISIR, compartilhando diferentes práticas de circuitos elétricos e eletrônicos utilizando o laboratório (KREITER et al., 2017).

Aspectos relacionados à implementação de funcionalidades de federação em sistemas para uso em larga escala e compartilhamento de laboratórios remotos começaram a ser explorados nos últimos anos (JONG; SOTIRIOU; GILLET, 2014). Orduña et al. (2014) e Lowe et al. (2016), descreveram a criação de protocolos de federação entre os RLMSs WebLabDeusto, LabShare e iLabs Shared Architecture.

Outra iniciativa importante em desenvolvimento, principalmente em termos de interoperabilidade, é o Grupo de Trabalho P1876¹ (*Networked Smart Learning Objects for Online Laboratories*) da IEEE Education Society. O grupo está desenvolvendo um padrão que define métodos para armazenar e recuperar objetos de aprendizagem para laboratórios remotos, além de padrões para projeto e implementação de ambientes de aprendizagem inteligentes para laboratórios remotos.

¹<http://sites.ieee.org/sagroups-edusc/>

2.2.3 Sistemas de Gerenciamento de Laboratórios Remotos

O Sistema de Gerenciamento de Laboratórios Remotos, ou RLMS (do inglês *Remote Lab Management System*), é um conjunto de ferramentas para a criação e gestão de laboratórios, implementando funcionalidades como autenticação, agendamento, user tracking e outras ferramentas administrativas (como permissões de usuários e relatórios, entre outras) (ORDUNA, 2013). Estes sistemas podem ainda estar integrados a outras soluções, como LMSs (*Learning Management Systems*), como por exemplo Moodle e Open edX.

De acordo com Gomes e Bogosyan (2009) e Maiti, Maxwell e Kist (2013), um RLMS tipicamente é composto pelos seguintes módulos:

- **Escalonamento:** as interações do usuário com o dispositivo sob controle precisam ser coordenadas afim de garantir o acesso exclusivo ao recurso durante uma sessão. Tipicamente filas e agendamento são utilizadas como estratégias de controle de concorrência.
- **Controle e aquisição:** o RLMS envia requisições de controle aos atuadores do experimento, e recebe dados como resposta as leituras dos sensores.
- **Processamento de requisições:** Responsável pela validação das entradas, bem como disparar as funções que tratam da lógica da aplicação. Provê ainda interface para integração com o cliente, normalmente por meio de um protocolo como HTTP ou WebSocket.
- **Suporte ao experimento:** Informações necessárias para a realização do experimento. O streaming, por exemplo, pode ser necessário para a visualização de certos fenômenos.
- **Gerenciamento de usuários:** Armazenamento e gestão de dados dos usuários indispensáveis na execução de tarefas como autenticação e autorização.

2.2.3.1 WebLab-Deusto

Desenvolvido em 2004 na Universidade de Deusto e em produção desde 2005, o WebLab-Deusto² é um RLMS que provê uma API para criação de novos experimentos, agendamento, autenticação e gerenciamento de usuários. O sistema proporciona ainda o compartilhamento de laboratórios

²<http://weblab.deusto.es>

remotos disponibilizados por diferentes instituições de ensino para utilização da plataforma, além de oportunizar a outras instituições a utilização de seus experimentos (ORDUÑA, 2013).

O sistema está disponível em uma série de idiomas, incluindo português, inglês e espanhol, seu código está disponível sob licença BSD 2-Clause e apresenta documentação³ disponível em língua inglesa.

Segundo Orduña et al. (2011), o modelo de gerenciamento adotado pelo WebLab-Deusto é dividido em duas sub-arquiteturas: laboratórios gerenciados e não gerenciados.

Laboratórios gerenciados são desenvolvidos utilizando a API do WebLab-Deusto. Eles têm essencialmente duas partes: um cliente, desenvolvido utilizando uma das bibliotecas fornecidas por Weblab-Deusto, e um servidor, desenvolvido utilizando uma das bibliotecas de servidor fornecidos ou usando XML-RPC diretamente. Estes laboratórios suportam balanço de carga, permitindo aos laboratórios que usufruam de múltiplas instâncias de um mesmo experimento.

No que refere-se aos laboratórios não gerenciados, a comunicação entre cliente e servidor ocorre indiretamente, sem a intervenção do RMLS. Os comandos são enviados do cliente para o servidor final. Os principais exemplos de laboratórios não gerenciados são experimentos onde uma máquina virtual é utilizada para manipular o experimento. Estes laboratórios têm a implementação mais complexa que laboratórios gerenciados.

2.2.3.2 iLab Shared Architecture

O iLab Shared Architecture (ISA), desenvolvido pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology) em 2001, provê um conjunto de funcionalidades que permitem o compartilhamento de laboratórios entre diferentes instituições. A arquitetura prevê três modelos de laboratórios: em lote (em inglês, *batch*), interativos e de sensores (HARWARD et al., 2008).

Os dois primeiros modelos contam com um *Lab Server*, serviço ligado ao dispositivo sob controle que é responsável pela lógica do experimento, e um *Service Broker*, servidor responsável pela autenticação, autorização e gerenciamento de usuários (ORDUÑA, 2013, p. 37).

Nos experimentos em lote, o usuário configura os comandos a serem enviados e recebe os resultados quando o experimento estiver disponível para executar sua solicitação, com o acesso exclusivo garantido por meio de uma fila. A fila é gerenciada pelo *Lab Server*, uma vez que pode ser vários *Service Brokers* ao mesmo tempo.

³<http://weblabdeusto.readthedocs.io/en/latest/>

Enquanto isso, nos experimentos interativos, o usuário interage controlando variáveis e realizando o monitorando dos resultados durante a execução. Neste modelo, o servidor está conectado ao equipamento no laboratório e trabalha com seu funcionamento em tempo real. O cliente por sua vez, instalado no computador do usuário, é a interface para o funcionamento do laboratório.

Já nos experimentos de sensores são aqueles em que os usuários monitoram ou analisam fluxos de dados em tempo real sem influenciar os fenômenos a serem medidos.

2.2.3.3 Labshare Sahara

Desenvolvido pela Universidade Tecnológica de Sydney (UTS) a partir do consórcio Labshare, o Sahara é um sistema que permite o acesso a experimentos remotos. Após autenticação, o usuário tem acesso a experimentos durante determinado período de tempo (sessão). Além disso, o Sahara oferece funcionalidades de agendamento e suporte à múltiplas instâncias de um experimento (LOWE; MACHET; KOSTULSKI, 2012, p. 403).

O Sahara se divide em três modelos de acesso: controle periférico, controle direto (ou primitivo), e controle em lotes. No controle periférico o acesso ao experimento ocorre por uma interface externa ao Sahara e o sistema não tem controle sobre a comunicação com o hardware, mas é responsável por atribuir o acesso ao programa de controle para o usuário, revogando o acesso, iniciando a experiência e monitorando os resultados dos testes e detecção de atividade na plataforma.

No controle direto, a aplicação cliente é quem controla o hardware. Neste modelo, o controle é feito através da implementação de classes Java utilizadas para enviar comandos de controle no equipamento. A interface entre o cliente e o hardware depende dos detalhes da plataforma. Um exemplo seria quando o controle é feito através de uma interface intermediária (*middleware*) e não diretamente enviado ao hardware, por exemplo, um web-service LabView que recebe as instruções do cliente e que por sua vez, se comunica com o hardware (LOWE; MACHET; KOSTULSKI, 2012).

No controle em lotes o usuário não interage diretamente com o experimento. Um arquivo de controle contendo as instruções e valores para a execução do experimento é enviado pelo usuário. Nestes casos, o cliente é responsável por carregar o arquivo de controle, verificar o seu conteúdo e analisá-lo para que a ação apropriada seja realizada pelo experimento.

2.3 REPRESENTAÇÃO DA INFORMAÇÃO E DO CONHECIMENTO

O conhecimento pode ser definido como o resultado de qualquer construção mental feita por um indivíduo a partir de informações, que são todos os dados externos às pessoas, comunicados oralmente por outros ou mediados por materiais em vários meios digitais, impressos ou analógicos. Com o intuito de trocá-los, transmiti-los ou tratá-los, é necessário representá-los por meio de linguagens e sistemas de representação de forma que possam ser processados (PAQUETTE, 2002, p. 12).

A representação é um processo cognitivo que perpassa pelas etapas de percepção, identificação, interpretação, reflexão e codificação, etapas que são envolvidas no ato de se conhecer um novo ser ou coisa, ou aprofundar-se no conhecimento de um ser ou uma coisa já conhecida, utilizando-se dos sentidos, da emoção, da razão e da linguagem (ALVARENGA, 2003).

A Representação da Informação consiste em um processo que envolve a descrição física e de conteúdo de um objeto, enquanto a Representação do Conhecimento envolve uma análise de domínio que resulta em sistemas conceituais estruturados esquematicamente que são utilizados no processo de descrição de conteúdo na RI (PINHO; NASCIMENTO; MELO, 2015).

De acordo com Catarino e Souza (2012) a Representação da Informação tem como principal objetivo proporcionar a comunicação entre os documentos e os usuários da informação, e pode ser subdividida em:

- **Representação temática:** atribuição de assuntos aos documentos a partir da classificação bibliográfica, da indexação e da elaboração de resumos, facilitando a recuperação de materiais relevantes que dizem respeito a temas semelhantes.
- **Representação descritiva:** representa as características específicas do documento que permitem sua individualização e também define e padroniza os pontos de acesso responsáveis pela busca e recuperação da informação e pela reunião de documentos semelhantes.

A partir da popularização da internet na década de 1990, agências internacionais da área da biblioteconomia passaram a se preocupar com o aperfeiçoamento da representação descritiva, visto o surgimento de novos tipos de suporte documental, principalmente em mídia digital. Paralelamente, outros setores envolvidos com tecnologia e negócios necessitavam maior autonomia para divulgação de seus documentos, pesquisas e/ou produtos. Estes esforços culminaram no nascimento da web semântica, e no aperfeiçoamento da descrição utilizando metadados (BAPTISTA, 2007).

2.3.1 Metadados e Web Semântica

De acordo com Breitman, Casanova e Truszkowsky (2007), internet vêm crescendo exponencialmente nos últimos anos, ultrapassando 8 bilhões de páginas. Contudo, este conteúdo é em sua maior parte desenvolvido utilizando linguagens que não são processáveis por máquinas, estado conhecido como Web Sintática. Neste ambiente, o computador é responsável apenas por apresentar a informação, que é processada exclusivamente por humanos. No entanto, este processo de interpretação é trabalhoso, principalmente considerando a quantidade de informação disponível na internet. Este excesso de informação, conhecido como *information overload* (sobrecarga de informação), dificulta a identificação de conteúdo relevante por mecanismos de busca.

Os esforços da comunidade acadêmica para solucionar este problema resultaram na Web 3.0, ou Web Semântica, que de acordo com Mutton e Golbeck (2003) se baseia na criação e compartilhamento de dados que possam ser interpretados por máquinas. O conceito foi apresentado por Berners-Lee, Hendler e Lassila (2001) em um artigo da revista Scientific American em 2001, onde os autores apresentaram futuros cenários onde a Web Semântica terá um papel fundamental no cotidiano dos indivíduos.

Segundo Lassila e Hendler (2007), o conjunto de padrões da Web Semântica suporta dados abertos, e uma visão sobre estes dados que foca mais na informação do que no processamento. Neste sentido, Hendler (2009) afirma que a Web 3.0 potencializa a Web 2.0, integrando suas aplicações aos novos padrões e linguagens desenvolvidos pelo W3C.

A Web Semântica procura definir padrões de organização de dados que ao mesmo tempo que promovem sua consistência, mantêm a liberdade nas estruturas que a internet proporciona (BREITMAN; CASANOVA; TRUSZKOWSKY, 2007). Assim, o uso de conceitos de formalização como ontologias e metadados facilitam o compartilhamento e reuso do conhecimento.

Metadados são informações estruturadas que descrevem, explicam, localizam, ou ainda facilita o uso ou administração de uma fonte de informação (RILEY, 2017). Estes dados descritivos podem tratar desde aspectos simples do objeto como título e descrição, até aspectos específicos como características de serviços e direitos autorais (DUVAL, 2001).

De acordo com , os metadados tem por principal objetivo "documentar e organizar de forma estruturada os dados das organizações, com o objetivo de minimizar duplicação de esforços e facilitar a manutenção dos dados"(IKEMATU, 2011).

Breitman, Casanova e Truszkowsky (2007) apresentam a classificação de tipos de metadados descrita por Gilliland-Swetland (1998), e utilizada pela

Universidade da Califórnia em Los Angeles (UCLA), conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Tipos de metadados

Tipo	Definição	Exemplos
Administrativo	Metadados relacionados à gerência de recursos de informação	Aquisição e localização da informação
Descritivo	Metadados utilizados para descrever ou identificar recursos	Índices especializados, links entre recursos e comentários
Preservação	Metadados relacionados à gerência da preservação de recursos de informação	Condição física do recurso, e dados sobre a digitalização de um recurso físico
Técnico	Metadados relacionados a como um sistema funciona ou os metadados se comportam	Documentação de hardware e software, tempo de resposta e dados de segurança
Uso	Metadados relacionados ao nível de tipo de uso de recursos de informação	Dados de exibição e user tracking

Fonte: Adaptado de Breitman, Casanova e Truskowsky (2007)

Alguns elementos de metadados como título, descrição, assunto e palavras-chave são semelhantes aos que as bibliotecas usam para catalogar suas obras. Outros elementos, como o identificador uniforme de recursos (URI), são específicos de um ambiente digital baseado na Web (MCLELLAND, 2003).

Duval et al. (2002) define princípios comuns a todos domínios de metadados que devem ser considerados no design de qualquer esquema de metadados ou aplicação que os utilize:

- **Modularidade:** elementos de diferentes esquemas devem poder ser combinados de maneira sintaticamente e semanticamente interoperável.
- **Extensibilidade:** aplicações devem permitir extensões de modo a acomodar extensões a um esquema de dados base sem prejudicar sua interoperabilidade.
- **Refinamento:** elementos devem conter descritores que permitam especificar um dado detalhadamente. Além disso, a definição de um voca-

bulário ou um conjunto que defina a gama de valores de um elemento pode aumentar a interoperabilidade semântica entre as aplicações.

- **Multilinguismo:** os conjuntos de metadados devem respeitar a diversidade linguística e cultural, levando em consideração os processos de internacionalização e localização.

A diversidade de recursos informacionais, bem como os avanços tecnológicos, vêm condicionando a criação dos mais variados padrões e aplicações. Entretanto, o maior obstáculo ao desenvolvimento ordenado dos metadados reside justamente no imenso número de projetos existentes (BAPTISTA, 2007).

2.3.1.1 Metadados na Descrição de Laboratórios Remotos

Com o intuito de se obter um panorama do conjunto de metadados utilizado por diferentes autores para a descrição de laboratórios remotos, foi realizada uma revisão sistemática da literatura. A pesquisa foi realizada em 4 etapas, adaptadas do modelo proposto por Brereton et al. (2007) para revisões sistemáticas na área de engenharia de software e tecnologia da informação.

Na primeira etapa, procurou-se definir qual seria a terminologia utilizada nas variáveis de pesquisa. Considerando a terminologia encontrada no trabalhos analisados por Heradio et al. (2016), adotou-se “*remote labs*” e “*metadata*”. Então, na segunda etapa, foi realizada a busca dos termos nas bases Scopus, IEEEExplore e ACM Digital Library.

Inicialmente foi inserido para pesquisa o termo “*remote labs*”, que retornou 2802 resultados na base de dados Scopus, 9468 resultados na IEEEExplore e 22087 resultados na ACM Digital Library. Em um segundo momento, a pesquisa foi refinada inserindo o termo “*metadata*”, que então retornou respectivamente 16, 23 e 13 artigos, totalizando 52 trabalhos.

Na seleção, primeiro foram excluídos trabalhos repetidos, e após análise do título, resumo e palavras-chave, foram descartados também trabalhos fora do escopo. Nesta primeira seleção, restaram 23 trabalhos. Após a leitura completa dos trabalhos, foram selecionados trabalhos de acordo com seus objetivos e resultados, verificando o foco dado aos metadados no desenvolvimento do trabalho.

A análise dos dados apresentados nos trabalhos utilizados neste estudo se deu através de análise descritiva dos aspectos relacionados às variáveis de pesquisa. Foram relacionados os aspectos que descreviam o conjunto de metadados utilizado por cada autor, e outras informações relevantes de cada trabalho. Os resultados desta revisão são apresentados no Quadro ?? e descritos

a seguir.

Quadro 2 – Metadados Apresentados nos Trabalhos Analisados

Trabalho	Metadados
Agrawal e Srivastava (2007)	Endereço, lista de parâmetros de entrada e saída, controle de dados ou de processo, assinatura das funções, documentação e ferramentas de análise
Grube et al. (2011)	Endereço, idioma, instituição, nome, descrição, licença, tipo e contato
Osten, Wilke e Pedrini (2011)	Definidos no cadastro do experimento e gerenciados pela ferramenta eSciDoc
Richter, Grube e Zutin (2012)	Agentes: autor, contato, publicação Pacotes: interação, mídia e material de suporte
Zervas, Fiskilis e Sampson (2014)	Dados Gerais: título, descrição, tipo, idioma e palavras-chave Organizacional: permissão, ciclo de vida, contato, custo, licença, provedor, contribuidor, versão, status Pedagógicos: “grandes idéias da ciência”, área do conhecimento, série, objetivos educacionais, dificuldade e interação Técnicos: endereço, requisitos, formato Conteúdo: aplicações de suporte, recursos para professores, recursos para alunos
Salzmann et al. (2015b)	Endereço, descrição, protocolo, mensagens de erro (baseadas nos status HTTP), resumo e notas getSensorMetadata: id, nome, descrição, tipo de websocket, tipo de resposta, valores de medição, parâmetros de configuração e modo de acesso getActuatorMetadata: id, nome, descrição, tipo de websocket, tipo de saída, valores de medição, parâmetros de configuração e modo de acesso
Tsourlidaki et al. (2015)	Dados Gerais: título, descrição, tipo, idioma e palavras-chave Administração: permissão, ciclo de vida, contato, custo, licença, provedor, contribuidor, versão, status Pedagógicos: “grandes idéias da ciência”, área do conhecimento, série, objetivos educacionais, dificuldade e interação Técnico: endereço, requisitos Adicional: recursos para professores, recursos para alunos e aplicações para suporte ao experimento
Zervas et al. (2015a)	Mapeamento de dados pedagógicos: área do conhecimento, palavras-chave, título, descrição, nível de ensino, objetivos educacionais, abordagem do professor
Zervas et al. (2015b)	Metadados mais utilizados nos repositórios de laboratórios, remotos e virtuais: título, laboratórios utilizados, área do conhecimento, palavras-chave, idioma, faixa etária

Fonte: Elaborado pelo autor

Agrawal e Srivastava (2007) apresentam um sistema modelo que define formalmente um laboratório remoto, e seu conjunto de entradas X (1), de restrições C (2), e suas funções de restrição g , e saídas O (3) com suas fun-

ções de saída f_j . Além disso, os autores dividem as restrições em restrições de dados, como tipo de dados, e restrições de processo.

$$X = \{x_1, x_2, x_3 \dots x_n\} \quad (1)$$

$$C = \{g_1, g_2, g_3 \dots g_n\} \quad (2)$$

$$g_i = g_i(x_1, x_2, x_3, \dots x_n)$$

Onde g_i é uma função de restrição

$$O = \{o_1, o_2, o_3 \dots o_n\} \quad (3)$$

$$o_i = f_i(x_1, x_2, x_3, \dots x_n)$$

Onde f_i especifica uma função de saída

Os autores afirmam ainda que a coleta dos metadados costuma ser realizada no cadastro do experimento no sistema, onde o usuário especifica as restrições utilizado um arquivo XML. A partir dos metadados, a interface de acesso ao experimento é então gerada dinamicamente (AGRAWAL; SRIVASTAVA 2007).

Grube et al. (2011) descrevem o conjunto de metadados e a ontologia utilizada pelo projeto LiLa ⁴ (Library of Labs). Os metadados ligados aos equipamentos ficam armazenados no portal do Lila, e são responsáveis por habilitar a reserva dos experimentos.

Osten, Wilke e Pedrini (2011) utilizam uma arquitetura onde o laboratório remoto apresentado, um microscópio digital holográfico, pode ser acessado utilizando um Mundo Virtual 3D, através de um servidor Open Wonderland. Os metadados do experimento são gerenciados utilizando a ferramenta de código aberto eSciDoc.

Richter, Grube e Zutin (2012) também abordam a arquitetura do projeto GOLC (Global Online Labs Consortium) ⁵, que é originada do modelo utilizado pelo projeto LiLa. Este trabalho explora como se dá a relação entre diferentes conjuntos de metadados dentro da ontologia utilizada, e relata problemas como diferentes idiomas utilizados no consórcio. Os autores também tratam de casos onde existe mais de uma instância do mesmo laboratório. Neste caso, estes são considerados um tipo de experimento. Além disso, os metadados são representados utilizando RDF.

Zervas, Fiskilis e Sampson (2014) apresentam o ASK4Labs, um repositório de laboratórios remotos e virtuais, junto a um modelo detalhado de

⁴<http://www.lila-project.org/>

⁵<http://www.go-lab-project.eu/>

metadados. Estes metadados são utilizados pelo mecanismo de buscas do repositório, além de serem utilizados para a criação dinâmica das páginas dos laboratórios.

Salzmann et al. (2015b) descreve a especificação de Dispositivos Inteligentes (Smart Devices) aplicada a metadados laboratórios remotos. Os metadados são utilizados para descrever os serviços, sensores e atuadores disponíveis para cada objeto, nomeando protocolos e formatos de dados. Este esquema possibilitaria que qualquer repositório recuperasse estes dados e os utilizasse para busca.

O trabalho desenvolvido por Tsourlidaki et al. (2015) descreve um estudo realizado com professores de ciências com o intuito de avaliar o conjunto de metadados utilizados no projeto Go-Lab. No estudo realizado, os autores observaram que os professores consideram muito importantes os metadados relacionados aos aspectos pedagógicos dos experimentos.

Zervas et al. (2015a) tratam de metadados usados em sistemas de recomendação e busca em repositórios de laboratórios remotos e virtuais. Os autores utilizam uma metodologia baseada nas competências específicas de diferentes áreas de conhecimento de professores de ciências.

Já o estudo apresentado por Zervas et al. (2015b) faz um levantamento de repositórios de laboratórios remotos e virtuais, e os metadados utilizados nesses laboratórios. Os autores fazem um levantamento dos metadados mais utilizados (título, laboratórios utilizados, área do conhecimento, palavras-chave, idioma e faixa etária) e menos utilizados (proprietário, colaborador, direitos de acesso, nível de dificuldade e nível de interação).

2.3.2 Interoperabilidade de Dados em Aplicações Educacionais

Um desafio atual da aprendizagem distribuída é o desenvolvimento e gerenciamento de conteúdo educacional digital de fácil reutilização. No que tange a reusabilidade de Objetos de Aprendizagem (OA), Vicari et al. (2009, p. 7) afirmam que:

A reusabilidade pode ser alcançada através da modularidade, interoperabilidade e recuperação. Modularidade descreve o grau de separação e consequente recombinação dos componentes do OA. Interoperabilidade é a capacidade de operar em plataformas heterogêneas. A recuperação está relacionada à capacidade de poder ser encontrado em função de sua descrição de propriedades e funcionalidades.

Norteados por estes valores, grupos de pesquisa e entidades nacionais

e internacionais têm proposto padrões para compatibilizar o desenvolvimento de aplicações educacionais. Além de facilitar sua reutilização, estes padrões permitem compartilhamento e comparação de dados coletados por diferentes instituições. Neste trabalho, destacamos os padrões Dublin Core, IEEE LOM, IEEE SLT, OBAA, SCORM e Experience API, descritos nas subseções abaixo.

2.3.2.1 Dublin Core

Dublin Core, um conjunto de especificações e recomendações para facilitar a busca e recuperação de recursos baseados na Web, foi desenvolvido pela Dublin Core Metadata Initiative (DCMI)⁶, grupo então liderado pela OCLC (Online Computer Library Center), organização aberta que apoia a inovação no design de metadados e melhores práticas em metadados. O grupo se reuniu em 1995, em Dublin (Ohio, Estados Unidos), para propor a padronização de informações sobre arquivos digitais (BAPTISTA, 2007).

A RFC 5013, conhecida como The Dublin Core Metadata Element Set, inclui 15 elementos definidos para descrever as propriedades núcleo de um elemento: título, criador, assunto, descrição, editor, colaborador, data, tipo, formato, identificador, fonte, linguagem, relação, cobertura e direitos (KUNZE; BAKER, 2007).

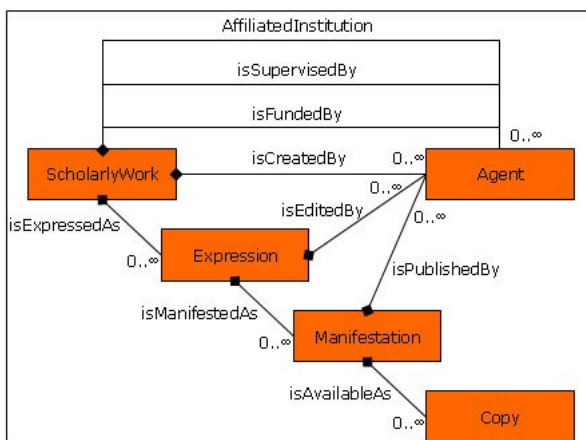
São incluídos qualificadores para refinar o uso de um elemento ou para identificar um esquema de codificação ou vocabulário controlado como fonte do elemento. Todos os elementos Dublin Core podem ser repetidos, sendo elementos também opcionais; consequentemente, os metadados para um determinado registro podem ser escassos, e os repositórios podem não preencher todos os campos. Além disso, diretrizes são fornecidas para codificar os metadados de Dublin Core em XML e RDF/XML, permitindo a interoperabilidade em diferentes plataformas, idiomas e sistemas (MCCLELLAND, 2003).

Uma versão expandida da especificação, conhecida como Qualified Dublin Core, suporta vocabulário utilizado em cenários mais específicos, além de apresentar regras para criação de esquemas, e de incluir audiência, proveniência e titular dos direitos como elementos adicionais ao core. Um perfil de aplicação utilizado em trabalhos escolares foi descrito por Allinson, Johnston e Powell (2007), conforme Figura 4.

Em 2013, haviam cerca de 50 projetos fazendo uso do Dublin Core catalogados pela DCMI em seu website (DUBLIN CORE METADATA INITIATIVE 2013).

⁶<http://dublincore.org/>

Figura 4 – Perfil de Aplicação do Projeto Eprints



Fonte: Allinson, Johnston e Powell (2007)

2.3.2.2 IEEE Learning Object Metadata

O padrão IEEE *Learning Object Metadata* (definido em IEEE 1484.12.1-2002 e corrigido por 1484.12.1-2002/Cor 1-2011, conhecido popularmente como IEEE LOM) é um modelo de dados, geralmente codificado em XML, usado para descrever objetos de aprendizagem e recursos digitais similares utilizados para suporte ao ensino e aprendizagem. O objetivo da aprendizagem de metadados de objetos é apoiar a reutilização de objetos de aprendizagem, facilitar seu compartilhamento e interoperabilidade, geralmente no contexto de Ambientes Virtuais de Aprendizagem. Parte da mesma família, o padrão IEEE 1484.12.3-2005 define as regras de validação de dados utilizando XML Schema (INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, 2002, 2005).

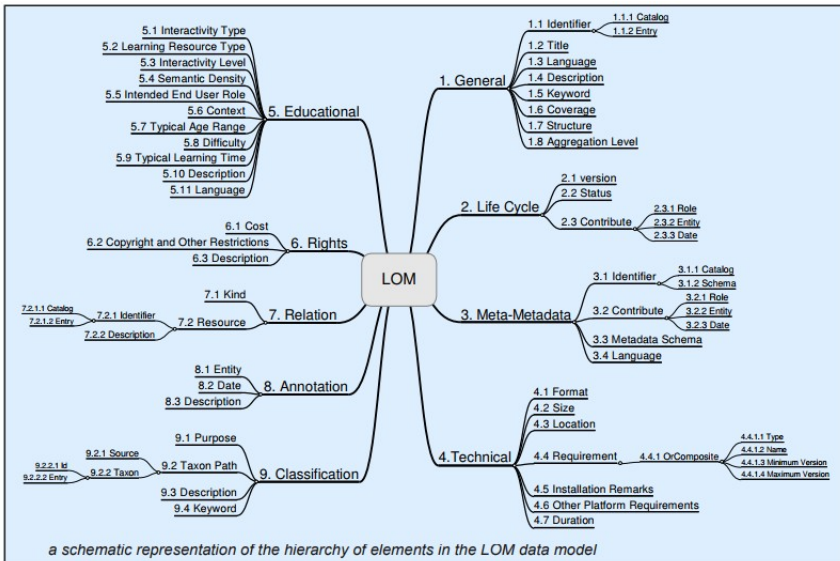
O padrão é resultado da adaptação do amplamente reconhecido *Dublin Core Metadata Element Set* ao domínio das tecnologias educacionais. Os padrões foram desenvolvidos pelo Comitê de Padrões para Tecnologias de Aprendizagem da IEEE Computer Society, com colaboração do IMS Global Learning Consortium e ARIADNE Foundation, que desenvolveram os rascunhos iniciais do modelo de dados como parte da especificação de metadados (CORBIÈRE; CHOQUET, 2004; IMS GLOBAL LEARNING CONSORTIUM, 2006).

A especificação LOM descreve uma hierarquia de elementos, na qual no primeiro nível existem nove categorias (geral, ciclo de vida, meta-metadados,

técnicos, educacionais, direitos, relação, anotação e classificação), cada uma das quais contém sub-elementos. Esses sub-elementos podem ser elementos simples que contém dados ou podem ser elementos agregados, que contém outros sub-elementos. A semântica de um elemento é determinada pelo seu contexto: eles são afetados pelo elemento pai ou *container* na hierarquia e por outros elementos no mesmo *container*. Esta ferramenta de descrição padrão permite que os atores do curso definam os metadados do objeto de aprendizagem (BARKER, 2005).

O modelo de dados também especifica *value space* e o tipo de dados para cada um dos elementos de dados simples. O "*value space*" define as restrições nos dados que podem ser inseridos para esse elemento. Para muitos elementos, o "*value space*" permite que qualquer seqüência de caracteres Unicode seja inserida, enquanto que outras entradas de elementos devem ser desenhadas a partir de uma lista declarada (ou seja, um vocabulário controlado) ou devem estar em um formato especificado (por exemplo, formato de data e idioma) (HOLZINGER; KLEINBERGER; MULLER, 2001).

Figura 5 – Hierarquia de elementos do padrão IEEE LOM



Fonte: Barker (2005)

Ao implementar o LOM como um provedor de dados ou serviços, não é necessário suportar todos os elementos no modelo de dados, nem precisa que o modelo de dados LOM limite as informações que podem ser forneci-

das. A criação de um perfil de aplicativo permite que uma comunidade de usuários especifique quais elementos e vocabulários eles usarão. Elementos do LOM podem ser descartados e elementos de outros esquemas de metadados podem ser trazidos; Da mesma forma, os vocabulários no LOM podem ser complementados com valores apropriados para essa comunidade (BARKER, 2005).

2.3.2.3 OBAA

Primeira iniciativa brasileira no sentido de especificar um padrão para objetos de aprendizagem, o OBAA (Objetos de Aprendizagem Baseados em Agentes) foi desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) junto à Universidade do Vale dos Sinos (UNISINOS). O padrão utiliza como base a especificação IEEE LOM, com a adição de metadados relacionados à acessibilidade e segmentação (VICARI et al., 2010).

O padrão foi criado partindo da carência que as especificações internacionais têm em relação a requisitos de acessibilidade, de adaptabilidade na descrição de conteúdo de diferentes plataformas (web, smartphones, TV digital e consoles), além de questões educacionais específicas do contexto brasileiro (VICARI et al., 2009).

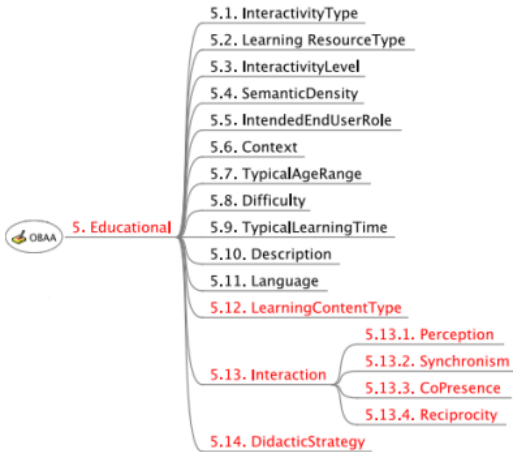
São expandidos os conjuntos de metadados *Technical* e *Educational*, além da criação da categoria *Accessibility* a partir de metadados adaptados da especificação IMS AccessForAll (BEHR, 2014; VICARI et al., 2010). A Figura 6 apresenta a versão estendida do grupo *Educational*.

A especificação apresenta definição de sintaxe em XML e da semântica usando uma ontologia OWL (*Web Ontology Language*), compatível com a Web Semântica e de acordo com a linguagem OWL-DL (*Description Language*) (VICARI et al., 2010).

São definidos ainda perfis de aderência a padrões de metadados, que define os requisitos de compatibilidade entre o padrão de metadados e outros padrões previamente definidos, e perfis de aplicação, que definem subconjuntos de metadados aptos a tratar dos aspectos particulares de uma dada aplicação de objetos de aprendizagem (VICARI et al., 2010).

2.3.2.4 IEEE Standard for Learning Technology

Também desenvolvida pelo Comitê de Padrões para Tecnologias de Aprendizagem da IEEE Computer Society, a Learning Technology Systems Architecture (LTSA) (IEEE 1484.1-2003 e IEEE 1484.20.1-2007) fornece

Figura 6 – Extensão do grupo de metadados *Educational*

Fonte: Behr (2014)

uma estrutura de modelo de dados complexa para rastrear informações sobre as interações dos alunos com o conteúdo de aprendizagem (INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, 2003, 2008).

A arquitetura fornece um modelo de referência para os diferentes níveis do processo de aprendizagem: (i) o contexto para os atores humanos, (ii) um modelo de componente para a organização e (iii) o ciclo de desenvolvimento de software. Os cinco níveis diferentes da arquitetura representam então os diferentes pontos de vista de um processo de aprendizagem (do mais abstrato ao mínimo), sendo descritos por Corbière e Choquet (2004):

- **Nível 1:** O mais abstrato, que define as tarefas de aquisição, transferência, troca e descoberta para o aluno como resultado das interações com seu ambiente. Essas entidades de ambiente e de aprendizagem são vistas como dois sistemas que trocam informações.
- **Nível 2:** Esta camada, minuciosamente detalhada no documento, define a reação do aluno ao meio ambiente.
- **Nível 3:** Sistema de componentes, normalizado pelo IEEE, define uma organização de um processo de aprendizagem visto a partir dos pontos de visão do fluxo de dados e controle.
- **Nível 4:** Este nível explora diretamente o sistema componente para formalizar as restrições do projeto de desenvolvimento. Permite a identi-

ficção das atividades do sistema durante o processo de aprendizagem.

- **Nível 5:** Este nível define as fases abstratas do desenvolvimento de software com base na abordagem de componente.

Os atores humanos e artificiais envolvidos no funcionamento de um processo de aprendizagem são descritos no Nível 3. Neste modelo, destacam-se quatro processos: aprendizagem, avaliação, tutoria e difusão. Além disso, dois *data stores* armazenam perfis de alunos e recursos pedagógicos. Os tipos de dados trocados nos fluxos de dados ou de controle são descritos no teor do padrão 1484.1-2003 (INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, 2003):

- **Contexto de interação:** esse fluxo de dados fornece as informações necessárias para a interpretação das observações.
- **Observações:** este fluxo de dados representa a informação integral em tempo real sobre as atividades do aluno.
- **Estado de aquisição:** o processo de avaliação pode enviar ou atualizar um perfil de estudante (por exemplo, como resposta a uma resposta correta dentro de um determinado horário).
- **Perfil do aluno:** através deste fluxo de dados, o processo de tutoria pode consultar e modificar a informação do estudante durante o aprendizado.
- **Avaliação:** este fluxo de dados informa o processo de tutoria do estado atual do perfil do estudante, de modo a otimizar o processo de aprendizagem.
- **Preferências do estudante:** o processo de tutoria negocia os parâmetros de ensino com o(s) ator(es) de aprendizagem.
- **Dados multimídia:** esse fluxo de dados permite que o processo de aprendizagem use recursos multimídia pedagógicos simultâneos, como vídeo, áudio, texto e gráficos.
- **Localidade:** este dado ou fluxo de controle indica onde encontrar um determinado recurso pedagógico.
- **Conteúdos pedagógicos:** esse fluxo de dados possui o material pedagógico codificado.

- **Consultas e informações catalogadas:** o processo de tutoria pode re-alizar pedidos simples para encontrar um objeto de aprendizagem apropriado para um curso. Esses pedidos podem conter critérios de pesquisa com base nas preferências do aluno, nos resultados da avaliação e na informação do curso.

2.3.2.5 SCORM

A iniciativa *Advanced Distributed Learning (ADL)*, do Departamento de Defesa do Governo dos Estados Unidos, tentou unir as especificações de *e-learning* que emergiam das organizações de padrões internacionais em uma única especificação. Este modelo ficou conhecido como SCORM, (*Shareable Content Object Reference Model*, inglês para Modelo de Referência de Objeto de Conteúdo Compartilhado) (JONES, 2002). A versão mais atual da especificação é a 2004, que teve sua quarta edição publicada em março de 2009⁸.

SCORM é um conjunto de especificações para desenvolver materiais de educação e treinamento. Os cursos compatíveis com SCORM favorecem o desenvolvimento assegurando que os cursos compatíveis sejam "RAID": (i) Reutilizável: facilmente modificado e usado por diferentes ferramentas de desenvolvimento; (ii) Acessível: pode ser pesquisado e disponibilizado, conforme necessário, tanto por alunos como por desenvolvedores de conteúdo; (iii) Interoperável: opera em uma grande variedade de hardware, sistemas operacionais e navegadores da Web, e (iv) Durável: não requer modificações significativas com novas versões do software do sistema (ONES, 2002).

Um modelo altamente generalizado de um AVA como conjunto de serviços que gerenciam a entrega eo rastreamento de conteúdo de aprendizagem para um aluno é apresentado na Figura 7. O SCORM não especifica a funcionalidade dentro do LMS.

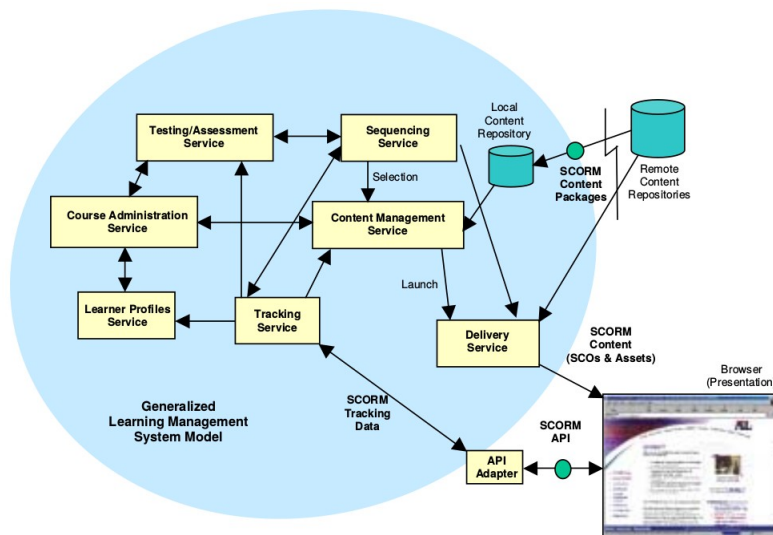
O propósito do SCORM Content Aggregation Model é fornecer um meio comum para compor conteúdo de aprendizagem de fontes descobertas, reutilizáveis, compartilháveis e interoperáveis. O modelo define ainda como o conteúdo de aprendizagem pode ser identificado e descrito, agregado em um curso ou parte de um curso e movido entre sistemas que podem incluir LMSs e repositórios, e define os métodos técnicos para a realização desses processos, incluindo especificações para agregar conteúdo e definir metadados (ADVANCED DISTRIBUTED LEARNING INITIATIVE, 2001).

Já a finalidade do SCORM Run-time Environment é fornecer um meio

⁷<http://www.adlnet.gov/>

⁸<https://adlnet.gov/research/SCORM/SCORM-2004-4th-edition/>

Figura 7 – Modelo generalizado de integração do SCORM a um AVA



Fonte: ADVANCED DISTRIBUTED LEARNING INITIATIVE (2001)

para a interoperabilidade entre o conteúdo de aprendizagem baseado em conteúdo compartilhado e LMSs. Um requisito do SCORM é que o conteúdo seja interoperável em vários LMSs, independentemente das ferramentas usadas para criar o conteúdo. Para que isso seja possível, deve haver uma maneira comum de acessar o conteúdo, uma maneira comum para que o conteúdo se comunique com um LMS e elementos de dados predefinidos que são trocados entre um LMS e conteúdo durante sua execução. Os três componentes do ambiente são definidos neste documento como Launch, Application Program Interface (API) and Data Model (ADVANCED DISTRIBUTED LEARNING INITIATIVE, 2001).

A configuração da API em torno do SCORM baseia-se no princípio de que você possui um pacote de conteúdo de aprendizado, permitindo que você especifique a sequência em que deve ser navegado, e deseja carregá-lo em um LMS para que os usuários sejam lançados e tenha seu uso monitorado (BETTS; SMITH, 2016).

Não são definidos requisitos para a criação de metadados e a associação desses metadados aos componentes específicos do modelo de conteúdo SCORM. A especificação aponta o padrão IEEE LOM e recomenda fortemente que ele seja usado ao descrever os Componentes do Modelo de Conteúdo SCORM (ADVANCED DISTRIBUTED LEARNING INITIATIVE, 2009).

2.3.2.6 Experience API

A xAPI fornece um padrão para coletar eventos ligados à experiência de aprendizagem. Ela foi projetada para apoiar a padronização e coleta de atividades de aprendizagem distribuídas, tanto formais como informais, permitindo a fácil descoberta de comportamento de aprendizagem, e tornando possível a formalização, armazenamento e recuperação de experiências de aprendizagem em ambientes virtuais. (HAMZAH et al., 2015; KEVAN; RYAN, 2016; BAKHARIA et al., 2016).

O desenvolvimento da xAPI foi financiado e apoiado pela ADL, também responsável pelo seu antecessor SCORM, padrão criado para garantir a interoperabilidade de dados entre sistemas de gerenciamento de aprendizagem (LMSs) e objetos de aprendizagem. A especificação foi desenvolvida pela Rustici Software como parte do Projeto TinCan⁹, que visava: (i) melhorar a interoperabilidade entre sistemas *e-learning* que coletam e trocam dados de aprendizado de alunos, e (ii) superar as limitações de SCORM (BAKHARIA et al., 2016).

Os dados armazenados podem ser utilizados pelos professores para acompanhar o progresso dos alunos em disciplinas gerais ou em competências específicas, facilitando a sua avaliação e a avaliação do objeto educacional. Betts e Smith (2016) apresenta os *stakeholders* da xAPI como:

- **Provedores de Atividades (PA):** criam dados no formato xAPI e os enviam ao LRS. PAs são sistemas e aplicativos em que as atividades e eventos de aprendizagem ocorrem, como por exemplo conteúdo e portais de aprendizagem, aplicativos e outros sistemas. Múltiplos Provedores de Atividades podem estar enviando dados a um LRS ao mesmo tempo.
- **Learning Record Stores (LRS):** bancos de dados que verificam se a entrada corresponde à especificação xAPI, armazenando todos os dados válidos para recuperação por Consumidores de Atividade, ou por usuários administrativos que desejam acessar os dados para análise.
- **Consumidores de Atividades (CA):** sistemas semelhantes aos Provedores de Atividades (um PA pode comportar-se como CA, dependendo do contexto), na medida em que são geralmente sistemas e aplicativos que modificam a experiência do usuário com base em dados xAPI. Este pode ser um LMS que "controla" uma atividade de aprendizagem completa, pois esta atividade aparece no LRS, ou algo mais complexo,

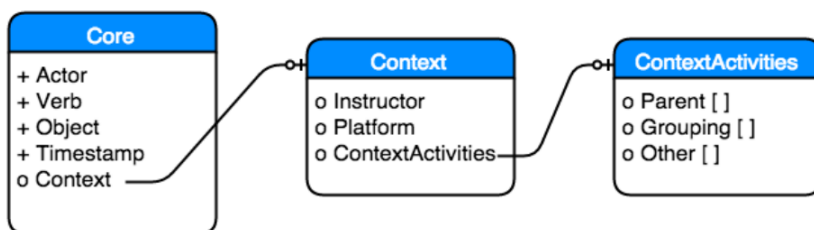
⁹<https://scorm.com/tincan/>

comouma tabela de classificação, um sistema de emissão de *badges* ou conteúdo de aprendizagem.

Existem mais de 150 aplicações que já exportam dados no formato xAPI. Estes incluem LMSs (como o Moodle, Blackboard e Totara), Sistemas de Gerenciamento de Conteúdo (Wordpress e Drupal, por exemplo), ferramentas de autoria (como Storyline, Captivate e Lectora), sistemas de aprendizagem social (como Curatr), aplicativos móveis (como Tappesstry ou o aplicativo Acapp, do Learning Locker), ferramentas de suporte ao desempenho (como o Red Panda, o sistema de experiência de Trek Learning, ou xAPI Apps), plataformas de avaliação (como teste TAO ou Question Mark), entre outros (BETTS; SMITH, 2016).

Uma experiência de aprendizado em xAPI é rastreada e formatada em um *statement*, na qual um ator executa uma ação em um objeto (ator + verbo + atividade + propriedades adicionais) (ADVANCED DISTRIBUTED LEARNING INITIATIVE, 2017). A Figura 8 apresenta um esquema simplificado de um *statement*.

Figura 8 – Esquema simplificado de um *statement* xAPI



Fonte: Bakharia et al. (2016)

O ator é o agente responsável pela execução da tarefa a ser registrada, podendo representar um agente individual (pessoa ou sistema) ou um grupo, que em um *statement* é representado por um Identificador Funcional Inverso (IFI) - normalmente um endereço de email ou URL OpenID¹⁰ (ADVANCED DISTRIBUTED LEARNING INITIATIVE, 2017).

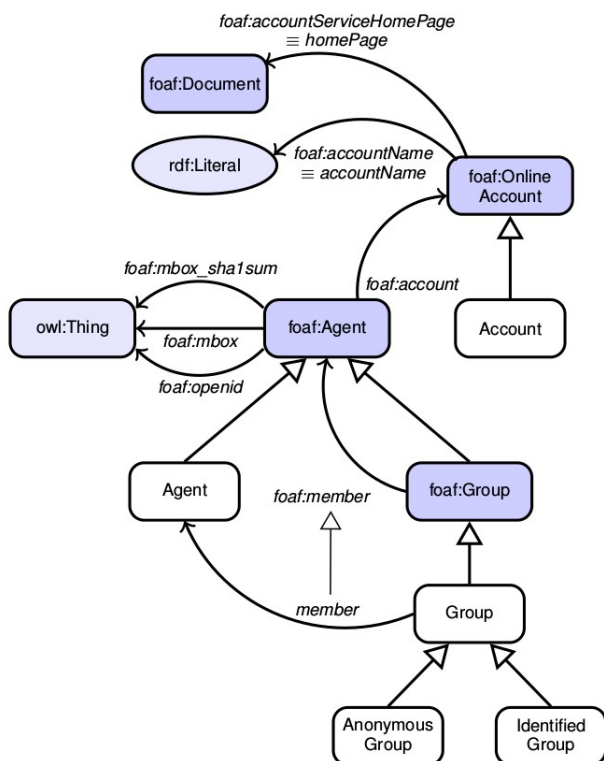
Os atores são descritos por Vidal, Rabelo e Lama (2015) por meio da ontologia FOAF¹¹, que é uma ontologia descrevendo pessoas, suas atividades e suas relações com outras pessoas e objetos, que pode ser processada por computadores (BRICKLEY; MILLER, 2007), conforme Figura 9. Neste contexto, um Agent é uma subclasse de *foaf:Agent* que é definido em FOAF

¹⁰<http://openid.net/>

¹¹<http://xmlns.com/foaf/spec/>

como pessoa, grupo, software ou artefato físico, enquanto Group é uma sub-classe de *foaf:Group*. Os grupos são organizados em duas subclasses, nomeadamente *AnonymousGroup* e *IdentifiedGroup*, que também são disjuntas. Os grupos anônimos são usados para descrever um grupo de pessoas onde não há identificador para esse cluster, e do contrário, os grupos identificados como agentes são identificados por um IFI. Especificamente, *foaf:mbox*, *foaf:mbox_sha1sum*, *foaf:openid* e *foaf:account* são usados para garantir essa identificação.

Figura 9 – Rede semântica de um modelo de agentes baseado em FOAF



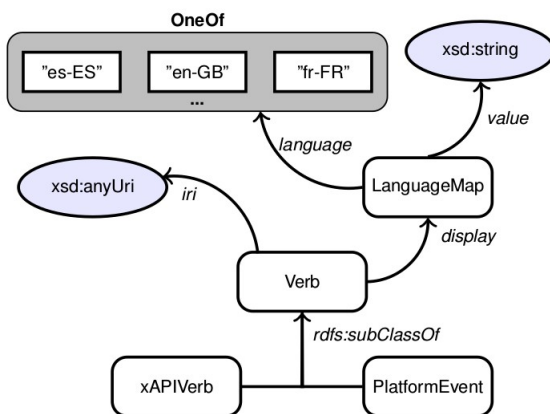
Fonte: Vidal, Rabelo e Lama (2015)

Um verbo, por sua vez, descreve a ação realizada durante a experiência de aprendizado. A xAPI deixou de especificar uma lista de verbos, o que chegou a ser parte de versões iniciais da especificação. Ao invés disso, é definido o processo de criação de verbos para que comunidades de prática

possam estabelecer verbos significativos para seus membros e torná-los disponíveis para uso por qualquer pessoa. A única exceção é o verbo reservado “voided”¹², usado para invalidar um *statement* (ADVANCED DISTRIBUTED LEARNING INITIATIVE, 2017).

Os verbos são descritos por Vidal, Rabelo e Lama (2015) na Figura 10. A raiz desta hierarquia é a classe *Verb* que é descrita por dois atributos: um IRI (*Internationalized Resource Identifier*), além do significado, é descrito na propriedade de exibição que contém as representações humanas legíveis do verbo em diferentes idiomas (*LanguageMap*) para que cada descrição tenha um *label* equivalente a ao idioma, e seu valor associado no idioma correspondente.

Figura 10 – Rede semântica de um modelo de verbo



Fonte: Vidal, Rabelo e Lama (2015)

O objeto define onde ou no que a ação foi executada - uma atividade (“Talita escreveu uma redação sobre futebol”), um agente/grupo (“Isabela entrevistou Josiel”), um *substatement* ou uma referência de *statement* (“Talita escreveu uma redação sobre ‘Isabela entrevistou Josiel’ ”).

A especificação descreve o formato para representar atividades de aprendizagem descritas em JSON. O formato de dados da declaração xAPI é baseado no WC3 Activity Streams 1.0¹³, com mudanças realizadas para que se possa incluir resultados e contexto de uma atividade (BAKHARIA et al., 2016). Um exemplo de *statement* é apresentado na Figura 11.

A especificação apresenta ainda um modelo de dados baseado em RDF

¹²<http://adlnet.gov/expapi/verbs/voided>

¹³<http://activitystrea.ms/specs/json/1.0/>

Figura 11 – Exemplo de *statement*

```

{
  "actor": {
    "name": "Sally Glider",
    "mbox": "mailto:sally@example.com"
  },
  "verb": {
    "id": "http://adlnet.gov/expapi/verbs/experienced",
    "display": {
      "en-US": "experienced"
    }
  },
  "object": {
    "id": "http://example.com/activities/solo-hang-gliding",
    "definition": {
      "type": "http://adlnet.gov/expapi/activities/course",
      "name": {
        "en-US": "Solo Hang Gliding"
      }
    }
  },
  "context": {
    "instructor": {
      "name": "Irene Instructor",
      "mbox": "mailto:irene@example.com"
    },
    "contextActivities": {
      "parent": {
        "id": "http://example.com/activities/hang-gliding-
          class-a"
      },
      "grouping": {
        "id": "http://example.com/activities/hang-gliding-
          school"
      }
    }
  }
}

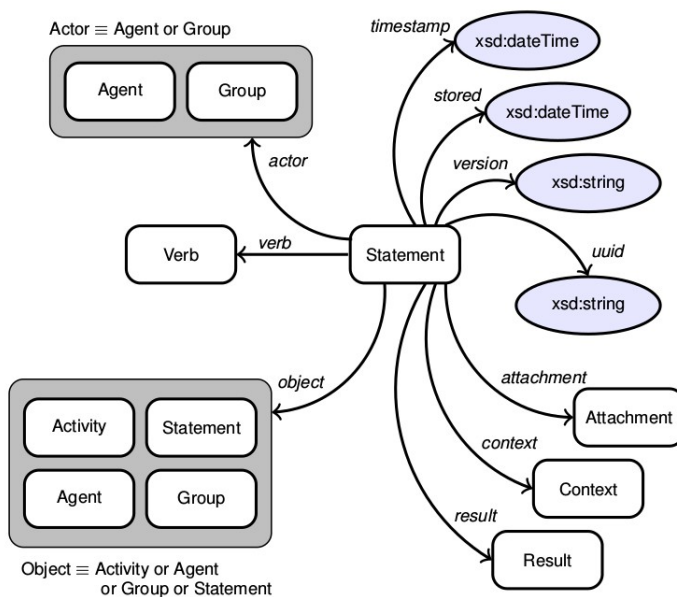
```

Fonte: Bakharia et al. (2016)

onde as restrições entre os dados são especificadas em linguagem natural. Além das informações comuns de ator, verbo e objeto, um *statement* também pode detalhar o resultado do evento ou as condições em que foi realizada por meio do resultado e propriedades de contexto, incluir anexos que fazem parte do registro de aprendizagem, e a propriedade de autoridade, que é usada para identificar o agente ou o grupo que está afirmando que essa afirmação é verdadeira. Quatro outras propriedades podem ser utilizadas: *uuid*, *timestamp*,

stored e *versão*, são propriedades dos dados que descrevem o identificador UUID atribuído ao *statement*, o momento em que ocorreu o evento, o momento em que foi armazenado no LRS e o Versão da xAPI, respectivamente. Os relacionamentos destas propriedades estão descritos na Figura 12 (VIDAL; RABELO; LAMA, 2015).

Figura 12 – Rede semântica de um modelo de *statement*



Fonte: Vidal, Rabelo e Lama (2015)

Este *statement* é então armazenado no *Learning Record Store* (LRS), base capaz de validar, armazenar e prover registros de *statements*, de onde ele pode ser posteriormente recuperado e analisado. Para evitar problemas de dados sendo adulterados ou alterados depois de terem sido enviados, a *Statement API* (serviço que trata dos *statements*) é imutável, isto é, não é possível editar ou excluir um *statement* depois deste ter sido enviado, podendo apenas ser invalidado por meio de um *statement* com o verbo “voided” (BETTS; SMITH, 2016).

Comunidades de Prática (CoP), grupos de profissionais ligados por uma causa, função ou propósito comum, estão focadas na implementação de xAPI dentro de um domínio de conhecimento específico ou caso de uso. CoPs, ou desenvolvedores independentes, podem criar vocabulários, perfis e

receitas específicos do domínio (ADVANCED DISTRIBUTED LEARNING INITIATIVE, 2016).

Essas práticas geralmente envolvem trabalho em torno da definição de casos de uso e definição dos vários termos de vocabulário, sinônimos e outros metadados relacionados que são mais utilizados dentro de uma CoP. Eles também reutilizam vocabulários, perfis e receitas existentes já publicados por outros CoPs ou participantes da comunidade xAPI.

Um perfil é um conjunto específico de regras e documentação para implementar o xAPI em um contexto particular. Os perfis geralmente fornecem um vocabulário particular de termos, alguns criados especificamente para o perfil, e alguns são referenciados por outros vocabulários. Algumas vezes, um perfil pode fornecer vários vocabulários para diferentes situações, e outras alguém pode curar um vocabulário de várias fontes sem definir um perfil (ADVANCED DISTRIBUTED LEARNING INITIATIVE, 2016).

Além dos perfis de projeto (por exemplo, cmi5, SCORM, IEEE ADB), podem ser criados tipos mais detalhados de perfis de atividade para representar implementações específicas de atividades de aprendizado. Por exemplo, perfis de atividade (por exemplo, avaliação ou perfis de vídeo) podem ser usados como um perfil autônomo ou dentro de um perfil de projeto mais amplo.

Um vocabulário é uma lista ou coleção dos termos que são utilizados por uma comunidade de práticas para rotular ou categorizar informações em um domínio particular.

O uso de um vocabulário garante que todos usem a mesma palavra para significar a mesma coisa. Vocabulários na xAPI podem usar uma única lista (conjunto de dados) ou várias listas de termos específicos selecionados para uso. Os conjuntos de dados de vocabulário devem ser curados e organizados de acordo com grupos de verbos e/ou tipos de atividades (ADVANCED DISTRIBUTED LEARNING INITIATIVE, 2016).

As comunidades de prática podem publicar novos conjuntos de dados de vocabulário ou termos de referência a partir de fontes de vocabulário existentes. Cada um dos termos de um conjunto de dados de vocabulário deve ter ou referir um IRI exclusivo. Por exemplo, o verbo "satisfeito" é identificado pelo IRI 'https://w3id.org/xapi/adl/verbs/satisfied'. Cada conjunto de dados de vocabulário também deve ter um IRI único e geralmente segue um padrão de design inteligível consistente com o caminho IRI dos termos de vocabulário que contém (ADVANCED DISTRIBUTED LEARNING INITIATIVE, 2016).

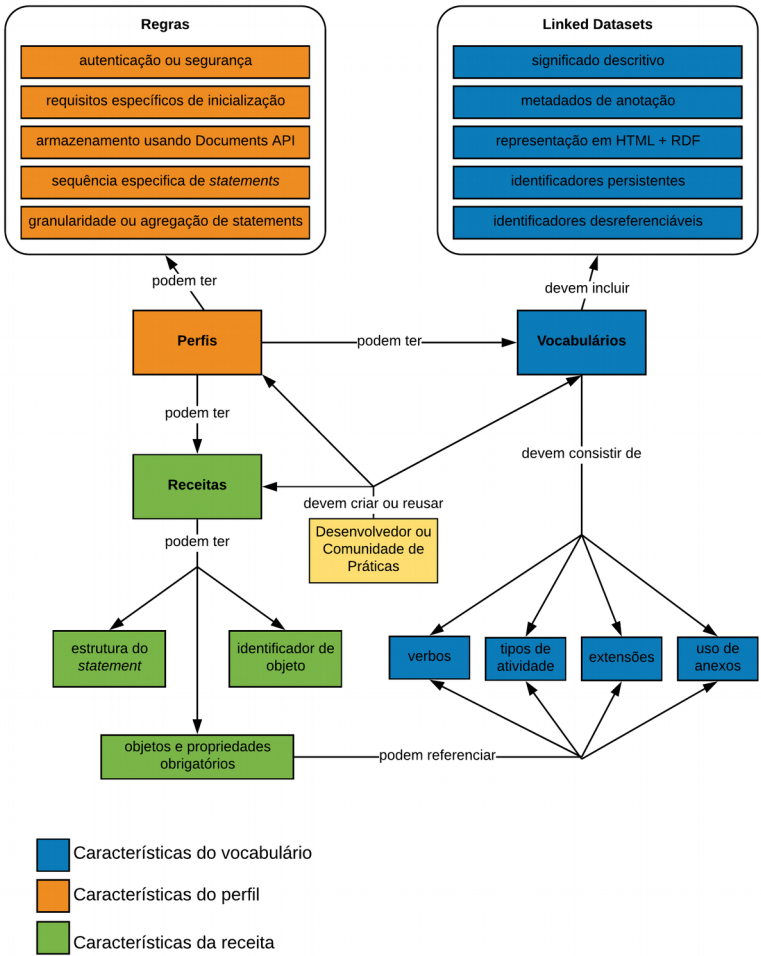
As receitas referem-se a uma maneira de expressar como um tipo comum de atividade de aprendizado poderia ser representado sintaticamente na forma de um *statement* xAPI. Uma receita destina-se a ser reutilizada por outros desenvolvedores ou CoPs (ADVANCED DISTRIBUTED LEARNING INITIATIVE, 2016).

Receitas podem especificar a estrutura do *statement*, objetos e propriedades, os valores necessários associados a cada objeto e propriedade e os identificadores de objeto. Elas não são necessariamente representadas em RDF, mas devem incluir exemplos e descrições legíveis para humanos (ADVANCED DISTRIBUTED LEARNING INITIATIVE, 2016). A relação entre receitas, perfis, e vocabulários é descrita na Figura 13.

2.3.2.7 Comparativo entre Padrões

A partir das especificações descritas neste trabalho, foi possível traçar um paralelo entre os diferentes padrões para descrição de aplicações educacionais (Quadro 3).

Figura 13 – Relação entre vocabulários, perfis e receitas



Fonte: Adaptado de Advanced Distributed Learning Initiative (2016)

Quadro 3 – Comparativo entre Padrões de Interoperabilidade de Dados em Aplicações Educacionais

Padrão	Instituição	Finalidade	Metadados
Dublin Core	DCMI	Facilitar a busca e recuperação de recursos baseados na Web	São definidos 15 elementos: título, criador, assunto, descrição, editor, colaborador, data, tipo, formato, identificador, fonte, linguagem, relação, cobertura e direitos
IEEE LOM	IEEE	Descrever objetos de aprendizagem e recursos digitais similares utilizados para suporte ao ensino e aprendizagem	Contém nove categorias (geral, ciclo de vida, meta-metadados, técnicos, educacionais, direitos, relação, anotação e classificação), que contém sub-elementos.
IEEE SLT	IEEE	Rastrear informações sobre as interações dos alunos com o conteúdo de aprendizagem	São descritos tipos de dados trocados: contexto de interação, observações, estado de aquisição, perfil do aluno, avaliação, referências do estudante, dados multimídia, localidade, conteúdos pedagógicos e consultas e informações catalogadas.
OBAA	UFRGS	Descrever objetos de aprendizagem, com foco na acessibilidade e na adaptabilidade na descrição de conteúdo de diferentes plataformas	Estende a IEEE LOM, adicionando 27 novos metadados na categoria técnicos, 8 na categoria educacionais, além de criar a categoria Acessibilidade (24 metadados) e de Segmentação (19 metadados)
SCORM	ADL	Desenvolvimento de materiais reutilizáveis, acessíveis, interoperáveis e duráveis para educação e treinamento	Apona a utilização do padrão IEEE LOM para a descrição de seus componentes.
xAPI	ADL	Formalização, armazenamento e recuperação de eventos ligados à experiência de aprendizagem em ambientes virtuais	Os statements contêm 3 elementos principais, administrativos (id, timestamp, etc), descritivos (ator, verbo e objeto) e complementares (contexto).

Fonte: Elaborado pelo Autor

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta a abordagem metodológica utilizada neste trabalho, tratando da classificação da pesquisa, delimitação do universo e contribuições do estudo, além da descrição dos processos utilizados em cada etapa de seu desenvolvimento.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O método, instrumento utilizado na produção do conhecimento científico e um de seus pilares (TAMAYO 2004, p.16), é o "conjunto das atividades sistemáticas e racionais que permite alcançar o objetivo (conhecimentos válidos e verdadeiros), traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista" (MARCONI; LAKATOS, 2003, p.82).

Segundo Marconi e Lakatos (2003, p.82), "não há ciência sem o emprego de métodos científicos", e fazendo uso destes métodos, técnicas e outros procedimentos científicos é conduzida a pesquisa, que de acordo com Gil (2002, p. 17) tem por objetivo "proporcionar respostas aos problemas que são propostos" e é necessária "quando não se dispõe de informação suficiente para responder ao problema".

Este documento, uma dissertação, "requer sistematização, ordenação e interpretação dos dados", e por ser produzido a partir de um estudo formal, "exige metodologia própria do trabalho científico" (TAMAYO 2004, p.237).

Assim, esta pesquisa de natureza aplicada, que conforme Farias Filho e Arruda Filho (2013, p. 62) "tem seus resultados voltados à aplicação prática", tem abordagem qualitativa, que tem como objetivo "aprofundar a complexidade de fenômenos, fatos e processos particulares e específicos", além de "responder questões particulares com um grau de realidade que não pode ser quantificado" (MINAYO; SANCHES, 1993).

Quanto aos seus objetivos, esta pesquisa pode ser classificada como descritiva, que de acordo com Farias Filho e Arruda Filho (2013, p. 63) "visa descrever as características de determinada população ou fenômeno". Os procedimentos técnicos conduzidos neste estudo permitem classificá-lo como estudo de caso, que de acordo com Gil (2002, p. 43), "consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento".

3.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA E CARACTERIZAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO

De acordo com Gil (2002, p. 29), a delimitação "guarda estreita relação com os meios disponíveis para investigação" e segundo Marconi e Lakatos (2003, p. 161) a delimitação "estabelece limites para a investigação", e deve levar em consideração o assunto e a extensão, além de outros fatores importantes para o estudo.

O universo desta pesquisa abrange a formalização e armazenamento de experiências de aprendizagem em cenários onde as práticas de experimentação são suportadas por laboratórios remotos. Nestes cenários, foi considerado apenas o registro da interação entre estudante e laboratório remoto feito por meio da especificação xAPI.

A partir de estudos anteriormente publicados acerca destes cenários, e dos requisitos resultantes dos cenários de aplicação específicos abordados neste trabalho (laboratórios remotos genéricos e *smart devices*), foi descrito um modelo para registro de experiências de aprendizagem utilizando a xAPI.

Além disso, foi implementado um protótipo utilizando o modelo para integrar à xAPI um conjunto de laboratórios remotos desenvolvidos no projeto GT-MRE e disponíveis no RELLE.

3.3 ETAPAS DA PESQUISA

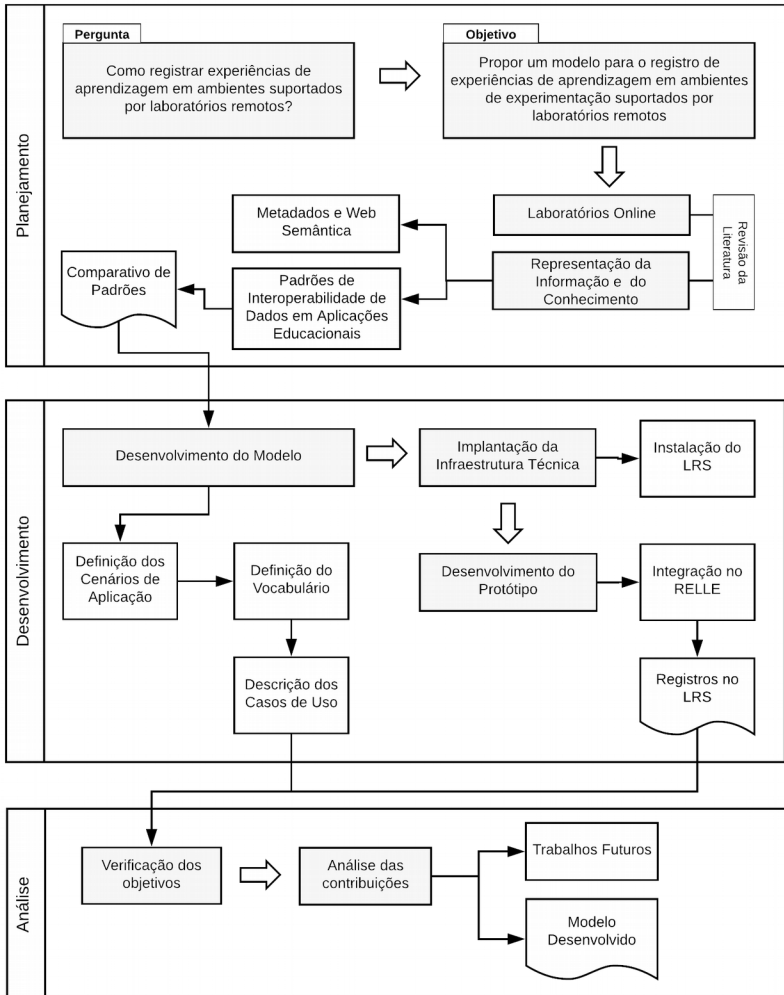
No que tange os delineamentos metodológicos empregados no desenvolvimento e teste do modelo proposto neste trabalho, a Figura 14 apresenta o fluxo empregado nas tarefas implementadas. Partindo da pergunta de pesquisa foram definidos os objetivos, que direcionaram a revisão da literatura acerca de cada variável. A partir do modelo proposto, foram então apresentados os resultados e a conclusão.

Com o intuito de atingir os objetivos estabelecidos para este estudo, as ações foram então divididas em tarefas menores e agrupadas em 3 grandes etapas: Planejamento, Desenvolvimento e Análise, descritas a seguir.

Na fase de Planejamento, foram conduzidas revisões narrativas e sistemáticas da literatura acerca das variáveis de pesquisa. Foram realizados ainda estudos técnicos sobre as tecnologias a serem utilizadas para implantar a infraestrutura necessária para o desenvolvimento do protótipo. Também foram pesquisados padrões de interoperabilidade de dados em ambientes de *e-learning* e ferramentas para armazenamento.

Inicialmente foi realizada uma revisão narrativa da literatura acerca das variáveis de pesquisa, analisando teses no assunto, além de artigos e tra-

Figura 14 – Fluxo dos delineamentos da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

balhos publicados em anais de eventos. De acordo com Rother (2007), as revisões narrativas são "apropriadas para descrever e discutir o desenvolvimento ou o estado da arte de um determinado assunto, sob ponto de vista teórico ou contextual".

Além disso, com o intuito de se obter um panorama do conjunto de metadados utilizado por diferentes autores para a descrição de laboratórios remotos, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, que de acordo com Biolchini et al. (2005) é uma "metodologia específica de pesquisa desenvolvida a fim de reunir e avaliar evidências disponíveis pertencentes a um tópico específico". De acordo com Mulrow (1994), a revisão sistemática da literatura é utilizada como um meio de: reconhecer, justificar e aprimorar informações sobre a questão de pesquisa escolhida e assim identificar e impedir as armadilhas decorridas de outros trabalhos; estimar tamanhos de amostra; e delinear efeitos e co-variáveis que merecem consideração em estudos futuros.

As informações obtidas a partir da análise dos trabalhos em ambas revisões foram apresentadas no Capítulo 2.

Na fase de Desenvolvimento fase se deu definição do modelo e o desenvolvimento do protótipo. Foram descritos os cenários de aplicação, para então definir o vocabulário a ser utilizado no registro. A partir do vocabulário, foram definidos os casos de uso descrevendo *statements* gerados em diferentes contextos, utilizando o formato indicado pela ADL para criação de perfis xAPI.

A partir do desenvolvimento do modelo, foram instalados os requisitos para implementação do protótipo: o cliente xAPI e o LRS. O protótipo foi desenvolvido integrando o cliente xAPI a um conjunto de laboratórios remotos no RELLE, registrando os *statements* em uma instalação própria do LRS Learning Locker. Foi criado ainda um conjunto de funções para facilitar a criação de *statements* a partir do modelo proposto.

Para a fase de Análise, foram avaliadas as contribuições deste trabalho. Foi inicialmente verificado se cada um dos objetivos foi atingido, elencando as contribuições referentes a cada objetivo. O modelo foi descrito e documentado, e os resultados do protótipo foram verificados.

4 MODELO PROPOSTO

Este capítulo apresenta o modelo resultante deste estudo, descreve o vocabulário proposto e introduz casos de uso e exemplos de *statements*.

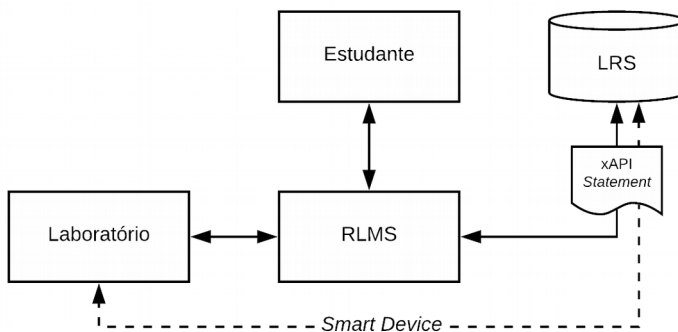
4.1 VISÃO GERAL

Este modelo se propõe a registrar dados sobre experiências de aprendizagem em laboratórios remotos utilizando a Experience API, de modo a armazenar as interações entre usuários e laboratórios, considerando seu fluxo multi-direcional.

Os registros das sessões dos estudantes nos laboratórios pontuam com exatidão e detalhamento de contexto o momento em que o usuário acessou o laboratório, quais comandos ele enviou, quais foram as respostas que o laboratório retornou, e as condições nas quais o usuário encerrou a sessão. Estes dados são descritos em *statements* xAPI, que são validados e armazenados em um LRS, de onde podem posteriormente ser recuperados.

É considerado ainda o papel do RLMS como mediador do processo, uma vez que a comunicação normalmente não se dá diretamente entre usuário e laboratório. Além disso, são descritos cenários onde o RLMS intermedia a comunicação entre laboratório e LRS, e onde um laboratório baseado em smart devices concentra também o envio de *statements* ao LRS. Os componentes do modelo são apresentados da Figura 15.

Figura 15 – Arquitetura do Modelo



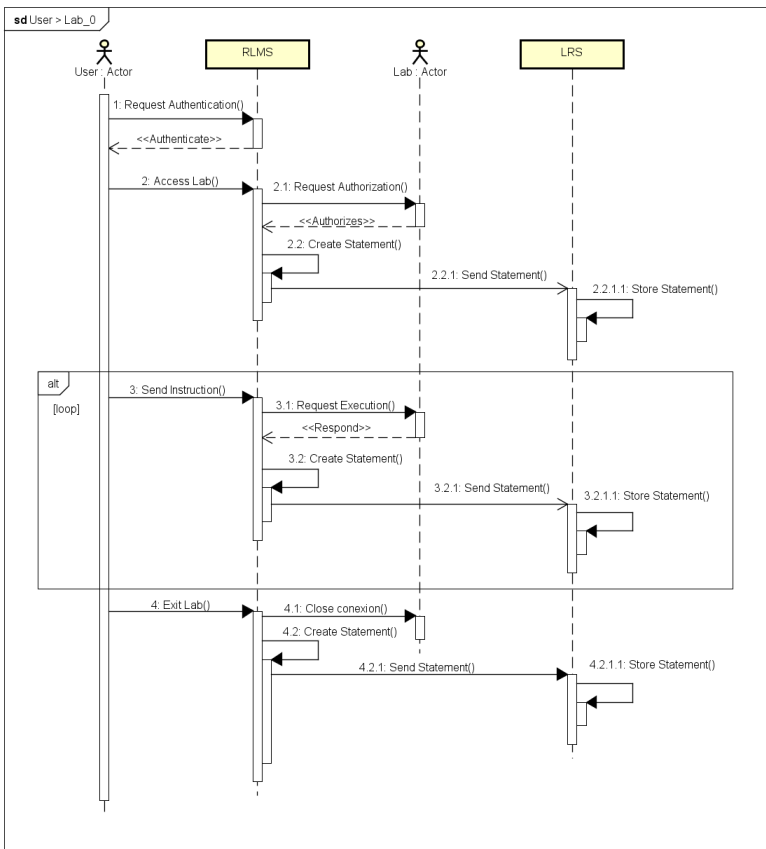
Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 CENÁRIOS DE APLICAÇÃO

4.2.1 Laboratórios Remotos Genéricos

Primeiramente, consideremos um cenário onde um laboratório genérico é gerenciado por um RLMS, como o descrito na Figura 16. Quando um usuário acessa o laboratório, o primeiro passo é sua autenticação, que permite ao RLMS identificar o estudante, e prover os dados aos *statements* nos quais ele é o ator.

Figura 16 – Diagrama de Sequência do Acesso a um Laboratório



Fonte: Elaborado pelo autor

Uma vez autenticado, o usuário acessa a página/interface do laboratório, gerando um *statement*, e aguarda autorização. A partir da autorização emitida e do início da sessão do estudante no laboratório, um *statement* é enviado descrevendo o início da sessão (Quadro 7).

A partir do início da sessão, as interações entre estudante e laboratório se dão em loop e de maneira assíncrona, gerando um *statement* a cada interação. Ao enviar um comando ao laboratório, é registrado um *statement* onde o estudante é o ator (Quadro 8), e quando o laboratório envia algum dado como resposta, há um novo registro, dessa vez indicando o laboratório como ator (Quadro 9).

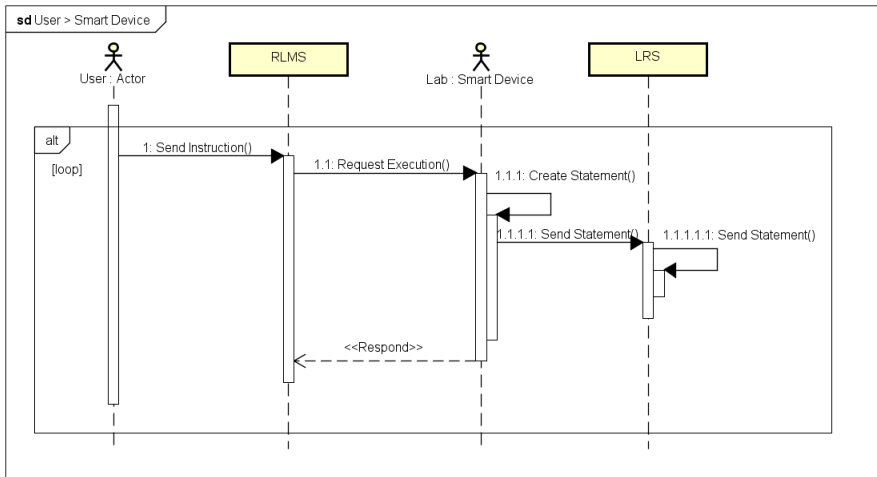
Ao encerrar uma sessão é enviado um *statement* ao LRS, informando se o usuário finalizou ou abandonou a sessão no laboratório (Quadro 10). Este e outros *statements* neste cenário são construídos no RLMS utilizando o vocabulário e estruturas propostos neste modelo, e então enviados ao LRS.

4.2.2 Smart Devices

A especificação Smart Device fornece interfaces de laboratórios remotos para clientes e serviços externos através de serviços bem definidos e funcionalidades internas, dissociando cliente e servidor. Um serviço representa, por exemplo, um sensor ou atuador exposto ao mundo externo (por exemplo, um cliente) através de uma API, sendo completamente descritos através de metadados, para que um cliente possa usá-lo sem mais explicações. Uma funcionalidade é um comportamento interno do Smart Device, podendo haver comunicação entre funcionalidades internas e aplicações de clientes ou serviços externos através de serviços de dispositivos inteligentes (SALZMANN et al., 2015a).

Considerando a capacidade de laboratórios desenvolvidos utilizando esta especificação de proverem tais serviços e descrição de seus componentes, o registro de seus *statements* pode ser feito diretamente do laboratório, sem o intermédio de um RLMS, como descrito na Figura 17. Este modelo garante maior precisão no tempo registrado no *statement* ao diminuir, mas dificultaria o registro de atividades realizadas em laboratórios que são compartilhados por múltiplos clientes.

Figura 17 – Diagrama de Sequência do Controle de um Laboratório Baseado em *Smart Device*



Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 MODELO DE DADOS

4.3.1 Atores

A propriedade 'actor' deve ser definida de acordo com a especificação xAPI. Quando um laboratório é acessado, o RLMS deve prover seus dados (com exceção dos laboratórios que utilizam a especificação *smart device*, que provêm seus próprios metadados), além de autenticar e prover também os dados do usuário. A descrição de um ator é apresentada na Figura 18.

Figura 18 – Exemplo da descrição de um ator

```

"actor": {
  "name": "Jose Simao",
  "mbox": "mailto:josepedrosimao@gmail.com",
  "objectType": "Agent"
}
  
```

Fonte: Elaborado pelo autor

Neste modelo, serão considerados como autores ambos estudantes (in-

divíduos ou grupos) e laboratórios online. A descrição de um laboratório como ator é apresentada na Figura 19.

Figura 19 – Exemplo de laboratório como ator

```
"actor": {
  "name": "Means of Heat Propagation",
  "openid": "http://relle.ufsc.br/labs/5",
  "objectType": "Agent"
}
```

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.2 Verbos

Os verbos especificados neste modelo são utilizados para descrever as ações de cada *statement* e estão listados no Quadro 4. O Apêndice B apresenta uma descrição detalhada de cada verbo do modelo

Quadro 4 – Relação dos Verbos do Modelo

Verbo	Uso	IRI
Acessou	Obrigatório	http://adlnet.gov/expapi/verbs/launched
Inicializou	Obrigatório	http://adlnet.gov/expapi/verbs/initialized
Viu	Opcional	http://id.tincanapi.com/verb/viewed
Determinou	Opcional	https://example.com/gtmre/verbs/set
Moveu	Opcional	https://example.com/gtmre/verbs/moved
Enviou	Opcional	https://example.com/gtmre/verbs/uploaded
Compilou	Opcional	https://example.com/gtmre/verbs/compiled
Exportou	Opcional	http://activitystrea.ms/schema/1.0/return
Retornou	Opcional	http://activitystrea.ms/schema/1.0/return
Abandonou	Obrigatório	http://adlnet.gov/expapi/verbs/abandoned
Saiu	Obrigatório	http://adlnet.gov/expapi/verbs/exited

Fonte: Elaborado pelo autor

Alguns verbos deste modelo descrevem ações gerais relacionadas ao acesso e controle de sessão (inicializou, saiu, exportou), e outras refletem diretamente as interações entre laboratório e estudante, descrevendo exatamente as ações relacionadas a sensores e atuadores específicos. O verbo ‘moveu’, por exemplo, pode ser utilizado para descrever comandos enviados a diferentes motores, ou para descrever a utilização de uma interface de programação visual, como a do laboratório block.ino¹.

¹<http://relle.ufsc.br/labs/16>

4.3.3 Objeto

O objeto define o elemento no qual a ação foi executada, e neste modelo, ao considerarmos a comunicação entre estudante e laboratório de maneira bidirecional, precisamos especificar objetos de dois tipos: atividade e agente.

Nos casos onde o estudante é o ator e executa uma ação sob um experimento, o objeto dos *statements* será do tipo atividade, utilizando o tipo de atividade laboratório online, definido neste modelo.

Quadro 5 – Tipos de Atividade

Rótulo	Descrição	IRI
laboratório online	Ferramenta que permite a condução de experimentos através da internet	https://example.com/gtmre/activity-types/online-laboratory

Fonte: Elaborado pelo autor

Nestes *statements*, a definição do objeto aponta a descrição do laboratório - nome, tipo de atividade e id, apontando qual sensor ou atuador do laboratório foi acionado no evento. Um exemplo de objeto extraído de um *statement* de objeto atividade é apresentado na Figura 20.

Figura 20 – Exemplo de objeto do tipo atividade

```

"object": {
  "definition": {
    "name": {
      "pt-BR": "Plano Inclinado "
    },
    "type": "http://example.com/gtmre/activity-types/online-laboratory"
  },
  "objectType": "Activity",
  "id": "https://example.com/gtmre/inclinedPlane/actuator/servoMotor"
}

```

Fonte: Elaborado pelo autor

Já os *statements* nos quais o laboratório é o ator tem o objeto do tipo agente, em que um usuário é descrito na propriedade *object*. Um exemplo de objeto extraído de um *statement* de objeto agente é apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Exemplo de objeto do tipo agente

```

"object": {
  "objectType": "Agent",
  "name": "Jose Simao",
  "mbox": "mailto:simaoj@mail.com"
}

```

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.4 Contexto

Utilizando uma URI que aponte para a definição de informações sobre o laboratório no atributo ‘extension’ do contexto, neste modelo representada por “<https://example.com/relle/lab-information>”, são inseridas informações do estado do experimento no momento da construção do *statement*.

Os sensores e atuadores de um laboratório, principalmente quando utilizando a especificação *smart device*, são descritos por um conjunto de metadados que podem ser utilizados nestes atributos. Ao enviar um comando ao laboratório, o *statement* descreve em seu contexto quais as configurações definidas pelo usuário. Já ao retornar dados ao usuário, o *statement* descreve os valores lidos por cada sensor, como o exemplo descrito na Figura 22.

Figura 22 – Exemplo de contexto

```

"context": {
  "extensions": {
    "https://example.com/relle/lab-information": {
      "https://example.com/relle/heatPropagation/sensors/
        thermometer": {
          "1": 21.4,
          "2": 21.2
        }
      }
    }
  }
}

```

Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 CASOS DE USO

Esta seção apresenta casos de uso baseados no modelo proposto, relacionando as principais ações realizadas por cada ator, condições e impacto.

Quadro 6 – Caso de Uso 01: Estudante Acessou um Laboratório

UC#01: Estudante Acessou um Laboratório	
Descrição:	O estudante acessou um laboratório online
Ator(es):	- Estudante
Pré-condição:	- O laboratório é hospedado pelo provedor está online - Um link para o laboratório é compartilhado com o estudante - O estudante se autentica e acessa o link do laboratório
Cenário de Caso de Uso / Fluxo de Trabalho / Interfaces de Sistema:	
1. Estudante abre no link (compartilhado pelo instrutor) 2. O verbo “launched” é enviado em um <i>statement</i> xAPI	
Pós-condição:	- O laboratório é inicializado pelo aprendiz - O <i>statement</i> xAPI é enviado para o LRS
Impacto:	- Relatórios de quantas vezes os usuários acessaram um laboratório - Acesso do usuário ao longo do tempo - Número de usuários que acessaram uma página de laboratório, mas abandonaram sem inicializar o laboratório
Exemplo de Statement	
<pre>{ "actor": { "name": "Jose Simao", "mbox": "mailto:josepedrosimao@gmail.com", "objectType": "Agent" }, "object": { "definition": { "name": { "en-US": "Development environment for Arduino" }, "type": "http://example.com/gtmre/activity-types/laboratory" }, "objectType": "Activity", "id": "http://relle.ufsc.br/labs/4" }, "verb": { "display": { "en-US": "launched" }, "id": "http://adlnet.gov/expapi/verbs/launched" }, "timestamp": "2017-11-29T17:19:17.325Z", "id": "0bc9bdda-106e-4179-bff3-8e1351cdc735" }</pre>	

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 7 – Caso de Uso 02: Estudante Inicializou um Laboratório

UC#02: Estudante Inicializou um Laboratório	
Descrição:	O ator iniciou o uso de um laboratório online.
Ator(es):	- Estudante
Pré-condição:	- Laboratório está disponível ou o aluno tem a prioridade máxima na fila/agendamento
Cenário de Caso de Uso / Fluxo de Trabalho / Interfaces de Sistema:	
1. Aprendiz abre no link (compartilhado pelo instrutor) 2. O verbo “initialized” é enviado no <i>statement</i> xAPI	
Pós-condição:	- O laboratório é inicializado pelo aprendiz - O <i>statement</i> xAPI é enviado para o LRS
Impacto:	- Número de usuários que inicializaram o laboratório - Correlação de quantos usuários acessaram o laboratório, mas não o completaram
Exemplo de Statement	
<pre> { "actor": { "name": "Jose Simao", "mbox": "mailto:josepedrosimao@gmail.com", "objectType": "Agent" }, "object": { "definition": { "name": { "en-US": "Development environment for Arduino" }, "type": "http://example.com/gtmre/activity-types/laboratory" }, "objectType": "Activity", "id": "http://relle.ufsc.br/labs/4" }, "verb": { "display": { "en-US": "launched" }, "id": "http://adlnet.gov/expapi/verbs/initialized" }, "timestamp": "2017-11-29T17:19:17.325Z", "id": "0bc9bdda-106e-4179-bff3-8e1351cdc735" } </pre>	

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 8 – Caso de Uso 03: Estudante Enviou um Comando para um Laboratório

UC#03: Estudante Enviou um Comando para um Laboratório	
Descrição:	O ator enviou uma requisição para um laboratório online.
Ator(es):	- Estudante
Pré-condição:	- O estudante está autorizado a acessar o laboratório e está em uma sessão - Laboratório está online
Cenário de Caso de Uso / Fluxo de Trabalho / Interfaces de Sistema: 1. O estudante interage com a interface, enviando um comando para um laboratório 2. O laboratório responde ao pedido 3. O verbo correspondente à entrada do usuário é enviado no <i>statement</i> xAPI	
Pós-condição:	- A requisição do aluno é processada pelo laboratório - O <i>statement</i> xAPI é enviado para o LRS
Impacto:	- Número de instruções enviadas pelo estudante ao laboratório - Sequência de etapas executadas pelo estudante na sessão
Exemplo de Statement	
<pre> { "actor": { "name": "Jose Simao", "mbox": "mailto:josepedrosimao@gmail.com", "objectType": "Agent" }, "timestamp": "2018-01-03T10:45:28.541Z", "version": "1.0.0", "id": "fa5e5b01-00ba-47dd-bb07-3c72060d5ec0", "verb": { "display": { "en-US": "set" }, "id": "https://example.com/relle/verbs/set" }, "object": { "definition": { "name": { "en-US": "Means of Heat Propagation" }, "type": "http://example.com/relle/onlineLabs/actuator" }, "objectType": "Activity", "id": "https://example.com/relle/heatPropagation/actuator/switch/1" }, "timestamp": "2018-01-03T10:45:28.093Z", "id": "1761d932-86c4-4e21-b012-b7d2e9f67383" } </pre>	

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 9 – Caso de Uso 04: Laboratório Retornou Valor para o Estudante

UC#04: Laboratório Retornou Valor para o Estudante	
Descrição:	O laboratório retornou os dados ao aluno.
Ator(es):	- Laboratório
Pré-condição:	- O estudante está autorizado a acessar o laboratório e está em uma sessão - Laboratório está online
Cenário de Caso de Uso / Fluxo de Trabalho / Interfaces de Sistema:	
1. O laboratório responde a uma requisição feita pelo estudante ou retorna valores de leitura contínuos	
2. O verbo "returned" é enviado no <i>statement</i> xAPI	
Pós-condição:	- Os valores lidos pelo laboratório são enviados ao aluno - O <i>statement</i> xAPI é enviado para o LRS
Impacto:	- Valores resultantes da entrada do aluno
Exemplo de Statement	
<pre>{ "actor": { "name": "Means of Heat Propagation", "openid": "http://relle.ufsc.br/labs/5", "objectType": "Agent" }, "verb": { "display": { "en-US": "returned" }, "id": "http://activitystrea.ms/schema/1.0/return" }, "object": { "name": "Jose Simao", "mbox": "mailto:josepedrosimao@gmail.com", "objectType": "Agent" }, "context": { "extensions": { "https://example.com/relle/lab-information": { "https://example.com/relle/heatPropagation/sensors/thermometer": { "1": 21.4, "2": 21.2 } } } }, "timestamp": "2018-01-03T10:45:28.093Z", "id": "1761d932-86c4-4e21-b012-b7d2e9f67383" }</pre>	

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 10 – Caso de Uso 05: Estudante Saiu do Laboratório

UC#05: Estudante Saiu do Laboratório	
Descrição:	O estudante encerrou a sessão no laboratório online
Ator(es):	- Estudante
Pré-condição:	- O estudante está autorizado a acessar o laboratório e está em uma sessão - Laboratório está online
Cenário de Caso de Uso / Fluxo de Trabalho / Interfaces de Sistema: 1. O estudante sai da interface do laboratório 2. O verbo "exited" é enviado no <i>statement</i> xAPI	
Pós-condição:	- A sessão é concluída e a conexão com o laboratório é encerrada. - O <i>statement</i> xAPI é enviado para o LRS
Impacto:	- Tempo gasto pelo estudante em uma sessão
Exemplo de Statement	
<pre>{ "actor": { "name": "Jose Simao", "mbox": "mailto:josepedrosimao@gmail.com", "objectType": "Agent" }, "object": { "definition": { "name": { "en-US": "Inclined Plane" }, "type": "http://example.com/relle/onlineLabs/laboratory" }, "objectType": "Activity", "id": "http://relle.ufsc.br/labs/7" }, "verb": { "display": { "en-US": "abandoned" }, "id": "http://adlnet.gov/expapi/verbs/abandoned" }, "timestamp": "2018-01-03T10:47:45.328Z", "id": "ffd731ef-e9ff-4b95-aale-d09a863b11e5" }</pre>	

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 11 – Caso de Uso 06: Estudante Abandonou a Sessão

UC#06: Estudante Abandonou a Sessão	
Descrição:	O estudante abandonou a sessão no laboratório online sem finalizá-la
Ator(es):	- Estudante
Pré-condição:	- O estudante está autorizado a acessar o laboratório e está em uma sessão - Laboratório está online
Cenário de Caso de Uso / Fluxo de Trabalho / Interfaces de Sistema: 1. O estudante abandona a sessão de utilização do laboratório 2. O verbo "abandoned" é enviado no <i>statement</i> xAPI	
Pós-condição:	- A sessão é concluída e a conexão com o laboratório é encerrada. - O <i>statement</i> xAPI é enviado para o LRS
Impacto:	- Número de tentativas não concluídas pelo estudante
Exemplo de Statement	
<pre> { "actor": { "name": "Jose Simao", "mbox": "mailto:josepedrosimao@gmail.com", "objectType": "Agent" }, "object": { "definition": { "name": { "en-US": "Inclined Plane" }, "type": "http://example.com/relle/onlineLabs/laboratory" }, "objectType": "Activity", "id": "http://relle.ufsc.br/labs/7" }, "verb": { "display": { "pt-BR": "exited" }, "id": "http://adlnet.gov/expapi/verbs/exited" }, "timestamp": "2018-01-03T10:47:45.328Z", "id": "ffd731ef-e9ff-4b95-aa1e-d09a863b11e5" } </pre>	

Fonte: Elaborado pelo autor

5 PROTÓTIPO

Este capítulo descreve as ferramentas utilizadas no desenvolvimento do protótipo, suas funcionalidades e finalidade no escopo do estudo.

5.1 RELLE

O protótipo utilizado para validação do modelo foi desenvolvido utilizando como base o RLMS RELLE, o integrando à xAPI e utilizando o vocabulário especificado.

Acrônimo em inglês para Ambiente de Aprendizagem com Experimentos Remotos (*Remote Labs Learning Environment*), RELLE é o RLMS desenvolvido pelo RExLab em 2015, como parte do projeto GT-MRE. O ambiente pode ser utilizado para acessar e gerenciar laboratórios remotos e hospeda hoje 17 laboratórios desenvolvidos por 3 universidades - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

Sua arquitetura flexível, descrita na Figura 23, permite a integração de diferentes tipos de laboratórios, e é dividida em 3 módulos: RLMS, LIS (Serviço de Escalonamento de Instâncias) e Laboratório, que são descritos nas seções abaixo.

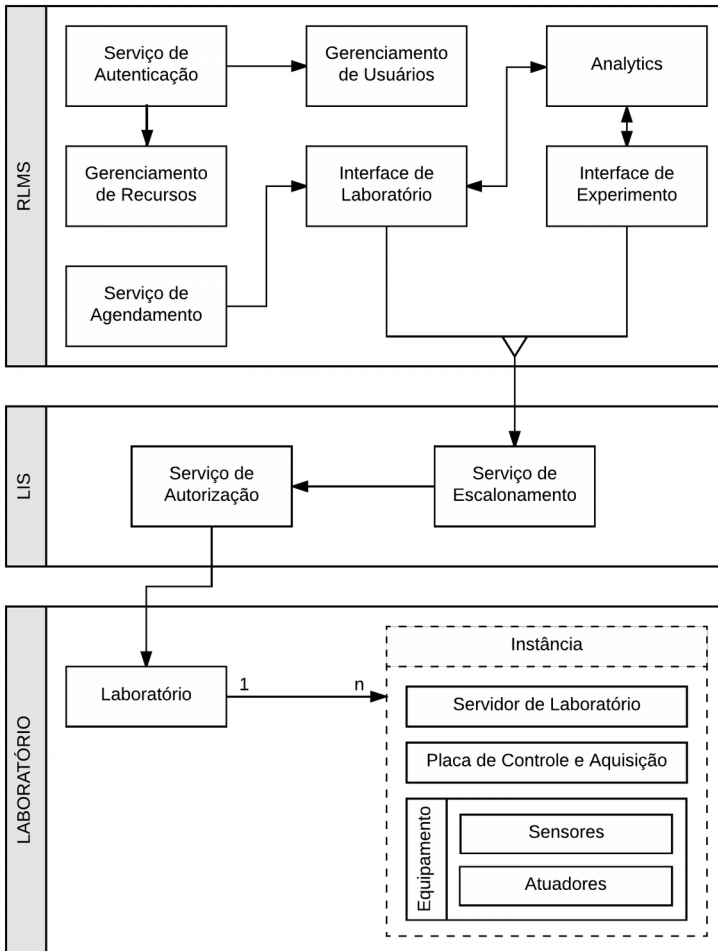
O sistema foi desenvolvido em PHP 5.5 utilizando o framework MVC (do inglês *Model-View-Controller*) Laravel em seu *backend*, sendo seu *frontend* desenvolvido em HTML, fazendo uso do *framework* CSS Bootstrap, em conjunto à biblioteca JavaScript jQuery.

5.1.1 Módulo RLMS

O módulo RLMS é responsável pelas funcionalidades comuns a múltiplos laboratórios, como autenticação, gerenciamento de usuários e de recursos, estando disponível para acesso em 3 idiomas: português, inglês e espanhol.

O serviço de autenticação dá acesso às funcionalidades específicas de cada papel de usuário: enquanto o usuário comum pode exportar relatórios com sua identificação nos laboratórios e editar seu perfil, o administrador tem acesso ao painel de controle, onde estão disponíveis todas as funções administrativas do sistema. Os privilégios de administrador incluem a gestão de usuários, laboratórios, agendamentos, experimentos, documentos (sua inclu-

Figura 23 – Arquitetura do RELLE



Fonte: Autor

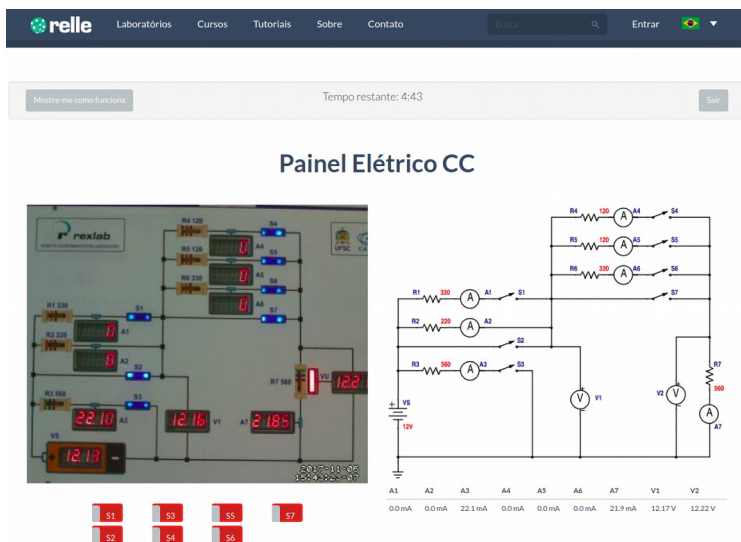
são, edição e exclusão) e acesso aos *logs* de acesso, além da permissão de mudar o papel de outros usuários.

O sistema permite o cadastro de documentos (como material didático, manuais de utilização e documentação técnica, por exemplo) e outros tipos de

arquivo, e sua vinculação a um ou mais laboratórios. Estes ficam então disponíveis na página que precede o acesso ao experimento, junto a um tutorial de acesso em vídeo, e aos metadados do laboratório.

O cliente do laboratório (Figura 24) dá ao usuário controle sobre os atuadores e sensores disponíveis no equipamento. Nesta página, o usuário tem acesso a tutoriais sobre o controle do experimento, e a possibilidade de exportar os dados resultantes do experimento em um relatório em PDF.

Figura 24 – Interface de acesso a um laboratório



Fonte: <http://relle.ufsc.br/labs/1>

A interface cliente do laboratório é desenvolvida pelo administrador de acordo com as especificidades do laboratório, utilizando modelos que estão disponíveis no repositório público do projeto¹.

Foi desenvolvido para o protótipo um novo modelo de acesso que permite a disponibilização de múltiplos experimentos para um mesmo laboratório remoto (Figura 25). Neste modelo de acesso, a interface de experimento é formada pelos controles básicos do laboratório e questões previamente cadastradas, com o objetivo de direcionar o uso do laboratório.

Na criação podem ser definidos um nome e imagem específicos para o experimento, e definido qual o laboratório que será utilizado. Podem ainda ser cadastradas questões de múltipla escolha, 'preencha as lacunas' e de resposta

¹https://github.com/REXLab/lab_package

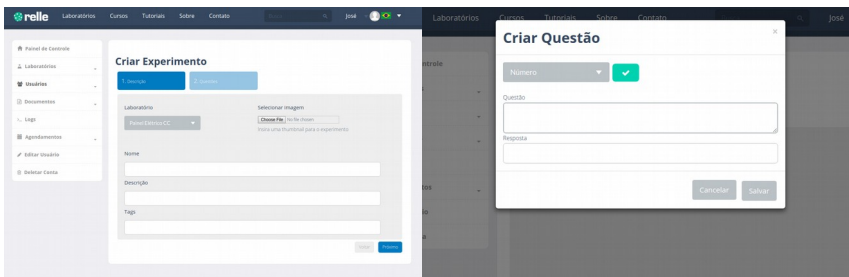
Figura 25 – Interface de acesso de experimentos



Fonte: <http://relle.ufsc.br/labs/1/exp/1>

numérica (Figura 26b). São inseridas as opções e a resposta correta para que o sistema consiga corrigir e armazenar os resultados do aluno.

Figura 26 – Interface de Criação de Experimentos



(a) Dados do Laboratório

(b) Criar Questão

Fonte: <http://relle.ufsc.br/exp/create>

Com o intuito de salvar aspectos mais específicos deste modelo de acesso no LRS, foram utilizados alguns verbos que descrevem a experiência

do estudante ao responder questões. A relação destes verbos é apresentada no Quadro 12

Quadro 12 – Relação dos verbos utilizados na interface de experimento

Verbo	Uso	IRI
Respondeu	Obrigatório	http://adlnet.gov/expapi/verbs/answered
Completo	Obrigatório	https://w3id.org/xapi/cmi5#completed
Tentou	Obrigatório	http://adlnet.gov/expapi/verbs/attempted

Fonte: Elaborado pelo autor

Já para descrever os tipos de questão da interface, foram utilizados os tipos de interação especificados na xAPI para o tipo de atividade *cmi.interaction* que permite o registro de respostas de diferentes tipos de atividades, como verdadeiro/falso, múltipla escolha, Likert, complete as lacunas e relacione as colunas, entre outras.

5.1.2 Módulo LIS

Considerando que no modelo de acesso interativo, no qual a grande maioria dos laboratórios disponíveis no sistema é baseado, o equipamento só pode ser acessado por um usuário de cada vez, é necessária a existência de um serviço que trate da alocação deste recurso.

LIS (do inglês *Laboratory Instances Scheduling Service*), é o serviço responsável pelo escalonamento dos laboratórios remotos hospedados no RELLE. O serviço gerencia a fila, e distribui o acesso entre múltiplas instâncias de um laboratório, em ambas interfaces de laboratório e de experimento.

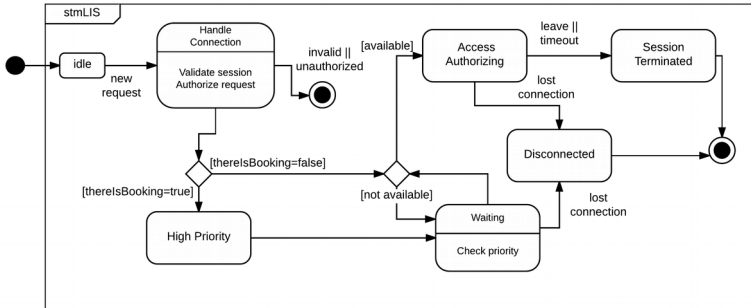
O serviço de escalonamento costumava ser FCFS (*First Come First Served*), conforme descrito por (LIMA, 2016), mas a partir da implementação da funcionalidade de agendamento, a alocação dos usuários em um laboratório passou a considerar pesos, tendo o usuário com agendamento para aquele período um peso maior que outros usuários, recebendo primeiro acesso ao recurso.

Primeiramente, o serviço de autorização valida a sessão por meio de um token enviado pelo RLMS, confirmando a autenticidade do usuário. O serviço verifica então se a requisição está vinculada a uma reserva no sistema, e se for o caso, define uma prioridade mais alta na fila. Uma vez autorizado, o usuário é conectado diretamente com a primeira instância disponível de um laboratório, e após esta conexão, a comunicação entre o cliente e o servidor

²<https://github.com/adlnet/xAPI-Spec/blob/master/xAPI-Data.md#Appendix2C>

do laboratório passa a ser direta, via protocolo websocket, e sem o intermédio do LIS. O processo é descrito na Figura 27.

Figura 27 – Diagrama de estado de máquina do LIS



Fonte: Autor

O LIS também é responsável por gerenciar acessos aos laboratórios realizados por outros RLMSs, a fim de garantir que todas as requisições respeitem as regras da fila. Atualmente o RLMS LabsLand já disponibiliza 5 dos laboratórios disponíveis no RELLE³.

Diferentes modelos de acesso de laboratório são suportados pela plataforma, que apesar de oferecer este modelo de escalonamento, permite que o laboratório adote seu próprio método, como no caso do VISIR, que utiliza seu próprio serviço com acesso em lote, ao invés do modelo interativo.

5.1.3 Módulo Laboratório

O RELLE hoje hospeda 17 laboratórios remotos: (a) Painel Elétrico CC, (b) Painel Elétrico CA, (c) Condução de Calor em Barras Metálicas, (d) Meios de Propagação de Calor, (e) Microscópio Remoto, (f) Plano Inclinado, (g) Banco Óptico, (h) Conversão de Energia Luminosa em Elétrica, (i) Disco de Newton, (j) Ambiente de Desenvolvimento em Arduino, (l) block.ino, (m) VISIR, (n) Observando a Água⁴, (o) Microscópio Remoto LTE 1⁴, (p) Microscópio Remoto LTE 2⁴, (q) Titulador Online⁴ e (r) Experimento de Thomson⁵.

³<https://labs.land/relle/?lang=en>

⁴Desenvolvido e hospedado pela UNICAMP.

⁵Desenvolvido e hospedado pela UFU.

Destes laboratórios, a maioria (a-h) faz uso da mesma arquitetura modular descrita na Figura 23: um certo equipamento (um microscópio, por exemplo) tem *inputs* e *outputs* automatizados pela integração de sensores e atuadores a uma placa de controle e aquisição desenvolvida pelo RExLab, que pode ser acessada por meio do servidor de laboratório - um serviço Node.JS hospedado em um *Single-Board Computer* (SBC), normalmente um Raspberry pi.

Já o laboratório VISIR utiliza uma arquitetura totalmente diferente dos outros experimentos disponíveis na plataforma. O laboratório é composto por matrizes de comutação, um servidor de medição, um servidor de equipamento e a plataforma PXI, da National Instruments, com seus módulos de multímetro, gerador de funções, osciloscópio e fonte de alimentação.

5.2 LEARNING RECORD STORE

Com o intuito de facilitar a implementação do protótipo, foi realizada a instalação de um LRS em uma máquina virtual nos servidores do RExLab. Não são muitas as opções de LRSs gratuitos disponíveis dentre a lista de soluções que adotam a xAPI oficialmente ⁶, além de a maioria ter o LRS apenas como uma funcionalidade de um sistema com outra finalidade, como o AVA Blackboard.

Assim, foi utilizado o Learning Locker, um LRS gratuito e de código aberto desenvolvido pela HT2 Labs. A aplicação funciona como um repositório de dados projetado para armazenar instruções de atividades de aprendizagem geradas por ferramentas com suporte à xAPI, e é o LRS mais utilizado atualmente (BETTS; SMITH, 2016).

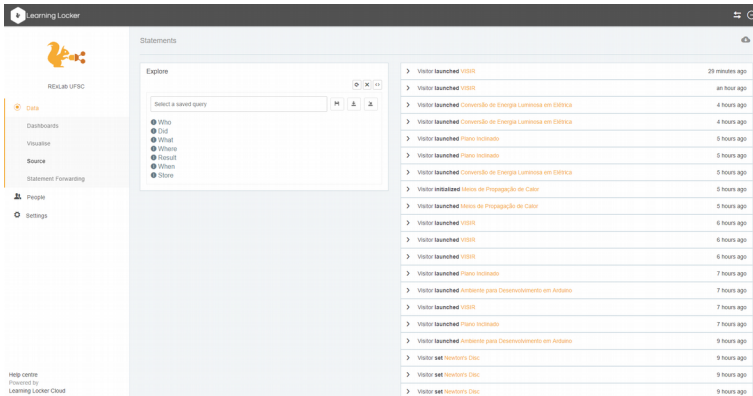
Além das funcionalidades básicas de registro, verificação e resgate de *statements*, as principais funcionalidades da aplicação são suporte a múltiplos LRSs e múltiplas instituições, múltiplas personas (vários atores de um usuário podem ser agrupados sob uma mesma persona), compartilhamento de *statements* entre LRSs e outras aplicações, além de ferramentas de visualização que permitem criar gráficos com séries e eixos personalizados, e uma API integrada à todas as funcionalidades da UI, que permite a requisição de relatórios e gráficos, por exemplo.

A versão utilizada para validação do modelo, v2.0, é desenvolvida utilizando Node.JS (ao contrário da versão anterior que foi desenvolvida em PHP), utiliza banco de dados Mongo DB e servidor web Nginx. Esta versão tem suporte à especificação da xAPI v1.0 e superiores.

A arquitetura da aplicação é dividida em dois elementos: o Learning

⁶<https://experienceapi.com/adopters/>

Figura 28 – Instalação do Learning Locker



Fonte: Autor

Locker em si, e o xAPI *service*. O primeiro compreende a interface de usuário (UI), uma API HTTP e web workers, elementos que possibilitam executar uma operação de script em uma thread separada do segmento de execução principal de um aplicativo da Web (MOZILLA, 2017). Já o segundo provê serviços para *statements*, *activity profiles*, *agent profiles*, e *states*.

5.3 INTEGRAÇÃO À EXPERIENCE API

A partir da interface dos laboratórios disponível no RELLE, foram definidos os gatilhos que disparariam cada evento a ser registrado. Um cliente JavaScript foi integrado ao *front-end* dos laboratórios para enviar os *statements* ao LRS. Foi escolhida a biblioteca TinCanJS⁷, desenvolvida pela Rustici Software, ao invés da versão oficial provida pela ADL, a xAPIWrapper⁸, devido à primeira continuar sendo atualizada pelos desenvolvedores.

Utilizando jQuery⁹, uma biblioteca JavaScript multiplataforma projetada para simplificar o script do lado cliente do HTML, foi desenvolvido um conjunto de funções para facilitar a montagem dos *statements* e seu envio por meio da TinCanJS. Cada elemento de um *statement* é normalmente composto por uma série de descritores e IRIs, então estas funções permitem que o código para formulação dos elementos seja reaproveitado, não sendo repetido

⁷<https://github.com/RusticiSoftware/TinCanJS>

⁸<https://github.com/adlnet/xAPIWrapper>

⁹<https://jquery.com/>

diversas vezes em cada componente que dispara um evento.

A função *xapiCreateStatement* recebe como argumento um objeto contendo os rótulos para verbo, objeto e contexto, e chama outras funções que formatam o objeto JSON enviado para o LRS. Estas funções complementares estão descritas no Quadro 13.

Quadro 13 – Funções elaboradas para criação dos *statements*

Função	Descrição
<i>xapiActor</i>	Descreve o ator do <i>statement</i> , retornando informações sobre o usuário ou laboratório
<i>xapiObject</i>	Descreve o objeto, apontando o id (URL para acesso), além do nome (utilizando a função <i>xapiObjName</i>) e tipo de atividade 'laboratory' no atributo <i>definition</i>
<i>xapiObjName</i>	Seleciona o nome da interface do laboratório em diferentes idiomas, e envia à função <i>formatLocale</i> para que seja formatado
<i>xapiObjType</i>	Retorna a IRI de um dos tipos de atividade do modelo, de acordo com o rótulo
<i>formatLocale</i>	Formata as strings de descrição dos atributos em diferentes idiomas em uma <i>language map</i> , em conformidade com a RFC 5646
<i>xapiContext</i>	Formata um objeto com o atributo 'extension' do tipo 'lab-information', para envio das informações de contexto do laboratório
<i>xapiVerb</i>	Retorna a IRI de um dos verbos do modelo, de acordo com o rótulo

Fonte: Elaborado pelo autor

Foram integrados à xAPI utilizando o modelo proposto os laboratórios remotos Painel CA (Figura 29), Microscópio Remoto, Plano Inclinado e Disco de Newton. Foram definidos eventos para os gatilhos que apontam interação entre estudante e laboratório, e também para recursos complementares, como tutoriais.

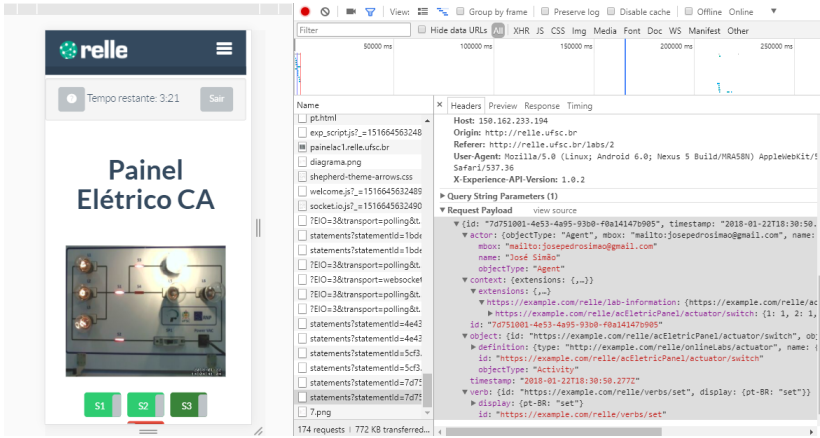
Além disso, todos os outros laboratórios disponíveis no RELLE tem pelo menos os gatilhos de início de final da sessão implementados, para que seja possível recuperar dados sobre número e duração das sessões.

No laboratório Painel CA, o verbo *set* foi utilizado para registrar interações com as chaves. Este mesmo verbo foi utilizado no Plano Inclinado para indicar o ângulo definido pelo usuário para inclinação da base, e no Disco de Newton para indicar quando o usuário ligou ou desligou o laboratório.

Já no Microscópio Remoto, o verbo *moved* indicou para qual lado e qual amostra o estudante solicitou ao laboratório. E quando o estudante consultava o tutorial, um *statement* com o verbo *viewed* era enviado ao LRS.

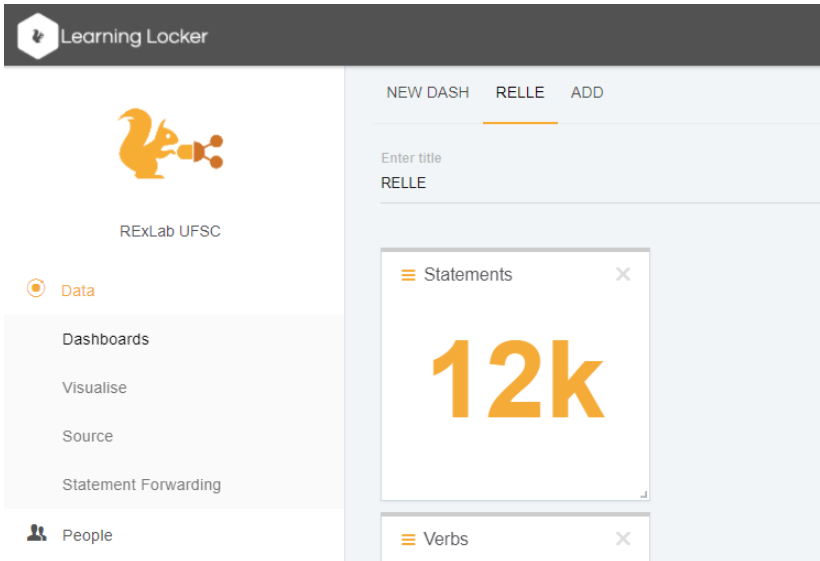
Desde a implantação do protótipo, no dia 08 de novembro de 2017, foram armazenados aproximadamente 12 mil *statements*, conforme Figura 30. Destes, um total de 16 autores registraram eventos descritos por 7 dos verbos do modelo.

Figura 29 – *Statement* enviado no laboratório Painel CA



Fonte: <http://relle.ufsc.br/labs/2>

Figura 30 – Número de *statements* registrados



Fonte: Elaborado pelo autor

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A popularização das TDIC tem promovido mudanças profundas e talvez irreversíveis na dinâmica do relacionamento entre as pessoas e das pessoas com suas atividades cotidianas. E a partir do reflexo destas mudanças na educação e do crescente desenvolvimento e utilização de ferramentas educacionais digitais, passou-se a gerar um grande volume de dados valiosos sobre o processo de ensino e aprendizagem.

Esta pesquisa teve por objetivo propor um modelo para a formalização e armazenamento de dados sobre experiências de aprendizagem em cenários onde as práticas de experimentação são suportadas por laboratórios remotos. O modelo apresentado neste trabalho permite o registro de dados em diferentes cenários de aplicação, considerando tanto a especificação *smart device* quanto laboratórios remotos genéricos.

O registro da interação entre estudante e laboratório remoto se deu por meio da especificação xAPI, que foi utilizada a partir de um estudo das diferentes especificações técnicas e arquiteturas de laboratórios remotos e modelos para interoperabilidade de dados em aplicações educacionais.

A especificação xAPI mostrou-se a especificação mais adequada à proposta, visto sua flexibilidade e riqueza na descrição dos eventos registrados. Não existia até então um perfil ou modelo para registro de dados utilizando esta especificação focado especificamente em laboratórios remotos.

Ao desenvolver o vocabulário proposto neste modelo, a definição dos verbos foi facilitada pelo fato da xAPI não limitar os termos da especificação a um conjunto definido, e permitir que a comunidade defina seus próprios verbos e tipos de atividade.

Contudo, o protótipo implementado, utilizando o modelo para registrar atividades desenvolvidas pelos estudantes em 4 laboratórios remotos hospedados no RELLE, permitiu verificar que devido justamente à flexibilidade do vocabulário e à necessidade de atribuir descrições detalhadas, quanto mais geral um modelo utilizando a especificação xAPI é proposto, mais complexo ele se torna.

A fim de expandir o modelo para mais cenários de aplicação e implantá-lo em diferentes arquiteturas de laboratórios, seria importante colaborar com outras instituições e pesquisadores da área para o compartilhamento das experiências relativas ao processo registro e análise conduzido por cada grupo de pesquisa. Assim, existe a necessidade de constituir uma comunidade de práticas a para criação de um perfil xAPI para laboratórios online.

A pesquisa desenvolvida não está completa com a conclusão deste trabalho. Além de adotar o modelo para registrar eventos em todos os laborató-

rios remotos do RExLab, como trabalho futuro seria interessante um estudo acerca da mineração dos dados de experiência de aprendizagem registrados por meio deste modelo, e possíveis aplicações para avaliação de estudantes, verificação de efetividade de práticas pedagógicas e gestão dos recursos tecnológicos.

REFERÊNCIAS

- ADVANCED DISTRIBUTED LEARNING INITIATIVE. *Sharable Content Object Reference Model - Version 1.2: The SCORM Overview*. Out 2001. Disponível em: <https://www.scorm.com/wp-content/assets/cookbook/SCORM%201_2%20Overview.htm>. Acesso em: 20 dez. 2017.
- _____. *SCORM 2004 4th Edition Content Aggregation Model (CAM) Version 1.1*. 2009. Disponível em: <http://adlnet.gov/public/uploads/SCORM_2004_4ED_v1_1_Doc_Suite.zip>. Acesso em: 19 jan. 2018.
- _____. *Relationship Between Vocabularies, Profiles, and Recipes*. 2016. Disponível em: <https://adl.gitbooks.io/companion-specification-for-xapi-vocabularies/content/relationship_between_vocabularies,_profiles,_and_r.html>. Acesso em: 16 dez. 2017.
- _____. *Experience API: Advanced Distributed Learning (ADL) Co-Laboratories*. 2017. Disponível em: <<https://github.com/adlnet/xAPI-Spec/>>. Acesso em: 20 dez. 2017.
- AGRAWAL, A.; SRIVASTAVA, S. Weblab: A generic architecture for remote laboratories. In: *Proceedings of the 15th International Conference on Advanced Computing and Communications, ADCOM 2007*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 301–306.
- ALLINSON, J.; JOHNSTON, P.; POWELL, A. *A Dublin Core Application Profile for Scholarly Works*. Jan 2007. Disponível em: <<http://www.ariadne.ac.uk/issue50/allinson-et-al#9>>. Acesso em: 20 dez. 2017.
- ALMEIDA, M. E. B.; VALENTE, J. A. Integração currículo e tecnologias e a produção de narrativas digitais. *Currículo sem Fronteiras*, v. 12, n. 3, p. 57–82, Set/Dez 2012.
- ALMEIDA, M. E. B. de; VALENTE, J. A. Tecnologias digitais, linguagens e currículo: Investigação, construção de conhecimento e produção de narrativas. In: TORRES, P. L. (Ed.). *Tecnologias Digitais para Produção do Conhecimento no Ciberespaço*. Curitiba: SENAR - PR, 2015. p. 331–352.
- ALVARENGA, L. Representação do conhecimento na perspectiva da ciência da informação em tempo e espaço digitais. *Encontros Bibli: revista*

eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação, Florianópolis, v. 8, n. 15, p. 18–14, 2003.

ALVES, G. R. et al. Spreading remote lab usage a system - a community - a federation. In: *2016 2nd International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education (CISPEE)*. Vila Real, Portugal: IEEE, 2016. p. 1–7.

ANTONIO, C. P. *Mundos Virtuais 3D Integrados à Experimentação Remota: Aplicação no Ensino de Ciências*. Dissertação (Mestrado em Tecnologias da Informação e Comunicação) — Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2016.

ANTONIO, C. P. et al. Merging a remote microscope and virtual worlds: Teaching kingdom plantae on basic education. *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, v. 12, n. 4, p. 3, 2016.

_____. Using 3d virtual worlds integrated to remote experimentation in sciences teaching. In: QUEIRÓS, R. A. P. de (Ed.). *Gamification-Based E-Learning Strategies for Computer Programming Education*. Hershey, USA: IGI Global, 2017. p. 195–220. ISBN 9781522510345.

AUER, M. et al. Distributed virtual and remote labs in engineering. In: *IEEE International Conference on Industrial Technology, 2003*. Maribor, Slovenia: IEEE, 2003. v. 2, p. 1208–1213.

BAKHARIA, A. et al. Recipe for success: Lessons learnt from using xapi within the connected learning analytics toolkit. In: *Proceedings of the Sixth International Conference on Learning Analytics & Knowledge*. New York, NY, USA: ACM, 2016. (LAK '16), p. 378–382. ISBN 978-1-4503-4190-5. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2883851.2883882>>.

BAPTISTA, D. M. O impacto dos metadados na representação descritiva. *Revista ACB: Biblioteconomia em Santa Catarina*, Florianópolis, v. 12, n. 2, 2007.

BARKER, P. *What is IEEE Learning Object Metadata / IMS Learning Resource Metadata?* Maio 2005. Disponível em: <<http://www.dia.uniroma3.it/sciarro/e-learning/WhatIsLOMscreen.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

BEHR, A. R. *OBAA-LEME: Um editor de conteúdo de metadados para objetos de aprendizagem a partir de ontologias e perfis de aplicação*. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência de Computação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BENCOMO, S. Control learning: present and future. *Annual Reviews in Control*, v. 28, n. 1, p. 115 – 136, 2004. ISSN 1367-5788.

BERMUDEZ-ORTEGA, J. et al. A new open-source and smart-device accessible remote control laboratory. In: *2017 4th Experiment@International Conference (exp.at'17)*. Faro, Portugal: IEEE, 2017. p. 143–144.

BERNERS-LEE, T.; HENDLER, J.; LASSILA, O. The semantic web: A new form of web content that is meaningful to computers will unleash a revolution of new possibilities. *Scientific American*, v. 285, n. 5, 2001. ISSN 0036-8733.

BETTS, B.; SMITH, R. *The Learning Technology Manager's Guide to xAPI*. 2016. Disponível em: <<https://www.ht2labs.com/resources/the-learning-technology-managers-guide-to-the-xapi/>>. Acesso em: 21 dez. 2017.

BIOLCHINI, J. et al. *Systematic Review in Software Engineering*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.cos.ufrj.br/uploadfile/es67905.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

BOCHICCHIO, M. A. et al. Fostering online scientific experimentations in universities and high schools: The edoc project. In: *2015 3rd Experiment International Conference*. Ponta Delgada, Portugal: IEEE, 2015. p. 337–342.

BOHUS, C. et al. Running control engineering experiments over the internet. In: *13th World Congress of IFAC*. San Francisco: Elsevier, 1996.

BREITMAN, K. K.; CASANOVA, M. A.; TRUSZKOWSKY, W. Book. *Semantic Web: Concepts, Technologies and Applications*. 1. ed. London: Springer, 2007. (NASA Monographs in Systems and Software Engineering).

BRERETON, P. et al. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of Systems and Software*, v. 80, n. 4, p. 571 – 583, 2007. ISSN 0164-1212. Software Performance.

BRICKLEY, D.; MILLER, L. *FOAF Vocabulary Specification 0.91*. 2007. Disponível em: <<https://s2.smu.edu/coyle/cse7347.prev/handouts/s14.FOAF%20Vocabulary%20Specification.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

BRINSON, J. R. Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computers & Education*, v. 87, p. 218 – 237, 2015. ISSN 0360-1315.

BROISIN, J.; VENANT, R.; VIDAL, P. Learning analytics for learner awareness in remote laboratories dedicated to computer education. In: *Proceedings of the LAK 2016 Workshop on Learning Analytics for Learners*. Edinburgh, Reino Unido: ACM, 2016. v. 1596, p. 31–37.

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.

CATARINO, M. E.; SOUZA, T. B. de. A representação descritiva no contexto da web semântica. *TransInformação*, Campinas, v. 24, n. 2, 2012.

CLEMENTE, F. J. G. et al. Collecting experience data from remotely hosted learning applications. In: AUER, M. E.; ZUTIN, D. G. (Ed.). *Online Engineering & Internet of Things: Proceedings of the 14th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV 2017*. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 170–181. ISBN 978-3-319-64352-6.

COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. *Pesquisa sobre o uso da Internet por crianças e adolescentes no Brasil - TIC Kids Online Brasil 2015*. São Paulo: NIC.BR / CETIC.BR, 2016. Disponível em: <<http://cetic.br/pesquisa/kids-online/publicacoes>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

_____. *TIC Educação 2016 - Apresentação dos principais resultados*. São Paulo: NIC.BR / CETIC.BR, 2017. Disponível em: <http://cetic.br/media/analises/tic_educacao_2016_coletiva_de_imprensa.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2017.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. *Documento de Área Interdisciplinar*. Brasília: [s.n.], 2016. Disponível em: <http://capes.gov.br/images/documentos/Documentos_de_area_2017/INTE_docarea_2016_v2.pdf>. Acesso em: 20 jun 2017.

CORBIÈRE, A.; CHOQUET, C. Designer integration in training cycles : IEEE LTSA model adaptation. In: PERNIN, F. M. J.-P. (Ed.). *CALIE 2004, International Conference on Computer Aided Learning in Engineering Education*. Grenoble, France: Universite Joseph Fourier, 2004.

DAROS, M. R. et al. Remote experimentation in basic education using an architecture with raspberry pi. In: *2015 3rd Experiment International Conference (exp.at'15)*. Ponta Delgada, Portugal: IEEE, 2015. p. 75–78.

DUBLIN CORE METADATA INITIATIVE. *Dublin Core Projects - Alphabetical*. Abr 2013. Disponível em: <<http://archive.is/2013.04.15-033935/http://dublincore.org/projects/>>. Acesso em 13 nov. 2017.

DUVAL, E. Metadata standards: What, who & why. *Journal of Universal Computer Science*, v. 7, n. 7, p. 591–601, jul 2001.

DUVAL, E. et al. Metadata principles and practicalities. *D-Lib Magazine*, v. 8, n. 4, Abril 2002.

FARAH, S. et al. Flexible and real-time remote laboratory architecture based on node.js server. In: *2015 3rd Experiment International Conference (exp.at'15)*. Ponta Delgada, Portugal: IEEE, 2015. p. 155–156.

FARIAS FILHO, M. C.; ARRUDA FILHO, E. J. M. *Planejamento da pesquisa científica*. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2013. ISBN 978-85-224-7626-8.

FROYD, J. E.; WANKAT, P. C.; SMITH, K. A. Five major shifts in 100 years of engineering education. *Proceedings of the IEEE*, v. 100, n. Special Centennial Issue, p. 1344–1360, 2012. ISSN 0018-9219.

GARCÍA-ZUBIA, J. et al. Secondlab: A remote laboratory under second life. In: *IEEE EDUCON 2010 Conference*. Madrid: IEEE, 2010. p. 351–356. ISSN 2165-9559.

GIL, A. C. *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. [S.l.]: Atlas, 2002.

GILLILAND-SWETLAND, A. J. Evaluation design for large-scale, collaborative online archives: Interim report of the online archive of california evaluation project. *Archives and Museum Informatics*, v. 12, n. 3, p. 177–203, 1998. ISSN 1573-7500. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1023/A:1009067622617>>.

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.

GOMES, L. et al. *Teaching, learning, and remote laboratories*. Bilbao: Deusto Publicaciones, Jun 2007.

GRUBE, P. P. et al. A metadata model for online laboratories. In: *2011 IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON 2011*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 618–622.

- GUSTAVSSON, I. et al. The VISIR project – an open source software initiative for distributed online laboratories. In: *Proceedings of the International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*. Porto, Portugal: IEEE, 2007.
- HAMZAH, W. M. A. F. W. et al. The use of tin can api for web usage mining in e-learning applications on the social network. In: *2015 IEEE Symposium on Computer Applications and Industrial Electronics (ISCAIE)*. Langkawi, Malásia: IEEE, 2015. p. 113–118.
- 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, 2008. ISSN 0018-9219.
- HECK, C. *Integração de Tecnologia no Ensino de Física na Educação Básica: Um Estudo de Caso Utilizando a Experimentação Remota Móvel*. Dissertação (Mestrado em Tecnologias da Informação e Comunicação) — Universidade Federal de Santa Catarina, Ararangua, 2017.
- HECK, C. et al. Experiência de integração da experimentação remota no ensino de física do ensino médio: Percepção dos alunos. *Revista Novas Tecnologias na Educação - RENOTE*, v. 14, n. 2, p. 1–10, dez 2016.
- HENDLER, J. Web 3.0 emerging. *Computer*, v. 42, n. 1, p. 111–113, Jan 2009. ISSN 0018-9162.
- HENRY, J. Running laboratory experiments via the world-wide web. In: AMERICAN SOCIETY OF ENGINEERING EDUCATION. *ASEE Annual Conference Proceedings*. Seattle, 1998.
- HERADIO, R. et al. Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis. *Computers Education*, v. 98, p. 14 – 38, 2016.
- HOLZINGER, A.; KLEINBERGER, T.; MULLER, P. Multimedia learning systems based on ieee learning object metadata (lom). In: *ED-MEDIA 2001 World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications*. Tampere, Finland: [s.n.], 2001.
- IKEMATU, R. S. Gestão de metadados: Sua evolução na tecnologia da informação. *DataGramaZero - Revista de Ciência da Informação*, Florianópolis, v. 2, n. 6, 2011.
- IMS GLOBAL LEARNING CONSORTIUM. *IMS Meta-data Best Practice Guide for IEEE 1484.12.1-2002 Standard for Learning Object Metadata*. 2006. Disponível em:

<https://www.imsglobal.org/metadata/mdv1p3/imsmd_bestv1p3.html>. Acesso em 13 nov. 2017.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. *1484.12.1-2002 - IEEE Standard for Learning Object Metadata*. Maio 2002.

_____. *IEEE Standard for Learning Technology-Learning Technology Systems Architecture (LTSA) (IEEE 1484.1-2003)*. 2003. 1-97 p.

_____. *1484.12.3-2005 - IEEE Standard for Extensible Markup Language (XML) Schema Definition Language Binding for Learning Object Metadata*. Nov 2005.

_____. *IEEE Standard for Learning Technology-Data Model for Reusable Competency Definitions (IEEE Std 1484.20.1-2007)*. Jan 2008. 1-32 p.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. *Censo Escolar*. 2016. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/web/guest/resultados-e-resumos>>. Acesso em 5 Set. 2017.

INTERNET ENGINEERING TASK FORCE. *Specification of Internet Transmission Control Program*. 1974. Disponível em: <<https://tools.ietf.org/html/rfc675>>.

JONES, E. R. Implications of scorm and emerging e-learning standards on engineering education. In: *Proceedings of the 2002 ASEE Gulf-Southwest Annual Conference*. Lafayette, EUA: ASEE, 2002.

JONG, T. de; SOTIRIOU, S.; GILLET, D. Innovations in stem education: the go-lab federation of online labs. *Smart Learning Environments*, v. 1, n. 1, p. 3, Oct 2014.

KEVAN, J. M.; RYAN, P. R. Experience api: Flexible, decentralized and activity-centric data collection. *Technology, Knowledge and Learning*, v. 21, n. 1, p. 143–149, Apr 2016. ISSN 2211-1670.

KREITER, C. et al. Visir federation: Initial building steps. In: *2017 4th Experiment@International Conference (exp.at'17)*. Faro, Portugal: IEEE, 2017. p. 24–27.

KUNZE, J.; BAKER, T. *RFC 5013 - The Dublin Core Metadata Element Set*. 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.17487/rfc5013>>. Acesso em 20 nov. 2017.

- LASSILA, O.; HENDLER, J. Embracing "web 3.0". *IEEE Internet Computing*, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, USA, v. 11, p. 90–93, 2007. ISSN 1089-7801.
- LIMA, J. P. C. *Desenvolvimento de servidores para laboratórios remotos baseado no paradigma de dispositivos inteligentes*. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Ararangua.
- LOWE, D.; MACHET, T.; KOSTULSKI, T. Uts remote labs, labshare, and the sahara architecture. In: ZUBÍA, J. G.; ALVES, G. R. (Ed.). *Using Remote Labs in Education: Two Little Ducks in Remote Experimentation*. 1. ed. Bilbao: Universidad de Deusto, 2012. cap. 20, p. 403.
- LOWE, D. et al. Interoperating remote laboratory management systems (RLMSs) for more efficient sharing of laboratory resources. *Computer Standards & Interfaces*, IEEE, Bali, Indonesia, v. 43, p. 21 – 29, 2016.
- MACHOTKA, J.; NAFALSKI, A.; NEDIĆ, Z. The history of developments of remote experiments. In: *Proceedings of the 2nd World Conference on Technology and Engineering Education*. Ljubljana, Slovenia: University of Ljubljana, 2011. p. 96–100.
- MAITI, A.; MAXWELL, A. D.; KIST, A. A. An overview of system architectures for remote laboratories. In: *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE)*. Kuta, Indonésia: IEEE, 2013. p. 661–666.
- MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de Metodologia Científica*. 5. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2003. 311 p.
- MARQUES, M. A. et al. How remote labs impact on course outcomes: Various practices using visir. *IEEE Transactions on Education*, v. 57, n. 3, p. 151–159, 2014. ISSN 0018-9359.
- MARTINS, M. do C. Turmas heterogêneas no ensino superior: um desafio para o professor e para o aluno. *European Scientific Journal*, v. 1, n. Special Edition, 2014.
- MCCLELLAND, M. Metadata standards for educational resources. *Computer*, v. 36, n. 11, p. 107–109, Nov 2003. ISSN 0018-9162.
- MINAYO, M. C. d. S.; SANCHES, O. Quantitative and qualitative Methods: opposition or complementarity? *Cadernos de Saúde Pública*, Scielo, v. 9, p. 237 – 248, 09 1993. ISSN 0102-311X.

MOREIRA, A. C. S.; PENIDO, M. C. M. Sobre as propostas de utilização das atividades experimentais no ensino de física. In: *VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Florianópolis: ABRAPEC, 2009.

MOZILLA. *Web Workers API*. 2017. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web_Workers_API>. Acesso em Nov. 15 2017.

MULROW, C. D. Systematic reviews: Rationale for systematic reviews. *BMJ*, v. 80, p. 597–599, 1994.

MUTTON, P.; GOLBECK, J. Visualization of semantic metadata and ontologies. In: *Proceedings on Seventh International Conference on Information Visualization, 2003. IV 2003*. Londres, Reino Unido: IEEE, 2003. p. 300–305.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES; NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING; INSTITUTE OF MEDICINE. *Facilitating Interdisciplinary Research*. Washington, DC: The National Academies Press, 2005. ISBN 978-0-309-09435-1.

NEDIC, Z.; MACHOTKD, J.; NAJHLSK, A. Remote laboratories versus virtual and real laboratories. In: *Proceedings of the 33th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*. Boulder: IEEE, 2003.

NICOLETE, P. C. *Integração de Tecnologia na Educação: Grupo de Trabalho em Experimentação Remota Móvel (GT-MRE) um Estudo de Caso*. Dissertação (Mestrado em Tecnologias da Informação e Comunicação) — Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2016.

ORDUÑA, P. *Transitive and Scalable Federation Model for Remote Laboratories*. Tese (Doutorado em Sistemas de Informação) — Universidad de Deusto, 2013.

ORDUÑA, P. et al. Generic integration of remote laboratories in public learning tools: Organizational and technical challenges. In: *2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–7. ISSN 0190-5848.

_____. Adding new features to new and existing remote experiments through their integration in weblab-deusto. *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, 2011.

_____. Labsland: A sharing economy platform to promote educational remote laboratories maintainability, sustainability and adoption. In: *2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*. Erie, EUA: IEEE, 2016. p. 1–6.

_____. Generic integration of remote laboratories in learning and content management systems through federation protocols. In: *2013 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*. Oklahoma City, EUA: IEEE, 2013. p. 1372–1378. ISSN 0190-5848.

OSTEN, W.; WILKE, M.; PEDRINI, G. Remote laboratories for optical metrology: From the lab to the cloud. In: *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. [S.l.: s.n.], 2011. v. 8413.

PAQUETTE, G. *Modélisation des Connaissances et des Compétences: Un Langage Graphique Pour concevoir et apprendre*. Québec: Presses de l'Université du Québec, 2002. 354 p.

PeñA-RÍOS, A. et al. Remote mixed reality collaborative laboratory activities: Learning activities within the interreality portal. In: *2012 IEEE/WIC/ACM International Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology*. Macau, China: IEEE, 2012. v. 3, p. 362–366.

PINHO, F. A.; NASCIMENTO, B. L. C.; MELO, W. L. As dimensões ôptica, epistêmia e documental na representação da informação e do conhecimento. *Revista ACB: Biblioteconomia em Santa Catarina*, Florianópolis, v. 20, n. 1, 2015.

PREDKO, M. Book. *Programming and customizing the 8051 microcontroller*. New York: McGraw-Hill, 1999.

RESTIVO, M. T. et al. Adding tactile information to remote and virtual labs. In: *2011 IEEE Global Engineering Education Conference*. Amman, Jordânia: IEEE, 2011. p. 1120–1124.

RICHTER, T.; GRUBE, P.; ZUTIN, D. A standardized metadata set for annotation of virtual and remote laboratories. In: *Multimedia (ISM), 2012 IEEE International Symposium on*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 451–456.

RICHTER, T.; TETOUR, Y.; BOEHRINGER, D. Library of labs - a european project on the dissemination of remote experiments and virtual laboratories. In: *2011 IEEE International Symposium on Multimedia*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 543–548.

RILEY, J. *Understanding Metadata: What is metadata, and what is it for?* Baltimore, EUA: National Information Standards Organization (NISO), 2017.

RODRIGUEZ-GIL, L. et al. Towards new multiplatform hybrid online laboratory models. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, PP, n. 99, p. 1–1, 2016. ISSN 1939-1382.

ROTHER, E. T. RevisÃsistemÃtica X revisÃnarrativa. *Acta Paulista de Enfermagem*, scielo, v. 20, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-21002007000200001nrm> iso

SALZMANN, C. et al. The smart device specification for remote labs. *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, v. 11, n. 4, p. 9–29, 2015.

_____. The smart device specification for remote labs. *International Journal of Online Engineering*, v. 11, n. 4, p. 20–29, 2015.

SANTOS, R. A. d. *A TV interativa como interface para a experimentação remota*. Dissertação (Mestrado em Tecnologias da Informação e Comunicação) — Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2016.

SCHECKLER, R. K. Virtual labs: a substitute for traditional labs? *The International journal of developmental biology*, UPV/EHU Press, v. 47, n. 2-3, p. 231–6, jan 2003.

SILVA, J. B. d. et al. Adaptation model of mobile remote experimentation for elementary schools. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologias del Aprendizaje*, v. 9, n. 1, p. 28–32, 2014. ISSN 1932-8540.

SIMÃO, J. P. S.; COUTINHO, L.; SILVA, J. B. da. Desenvolvimento e implantação de um modelo de acesso exclusivo para experimentação remota. In: *Anais do Seminário de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação - SPPI*. Araranguá: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

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

TAMAYO, M. T. y. *El proceso de la investigación científica*. 4. ed. México: Editorial Limusa, 2004. 431 p.

TAROUCO, L. M. R.; MORO, E. L. da S.; ESTABEL, L. B. O professor e os alunos como protagonistas na educação aberta e a distância mediada por computador. *Educar*, n. 21, p. 29–44, 2003.

TITOV, I. et al. Labicom labs: RII, gnss, oscilloscope and generator remote and virtual labs: Interactive demonstration of labicom labs in spring 2015. In: *2015 3rd Experiment International Conference (exp.at'15)*. Ponta Delgada, Portugal: IEEE, 2015. p. 145–146.

TSOURLIDAKI, E.; ZERVAS, P. *The Go-Lab Inventory and Integration of Online Labs – Labs Offered by Universities*. [S.l.]: Go-Lab consortium, 2014. 247 p. Disponível em: <<https://telearn.archives-ouvertes.fr/hal-01201932/document>>. Acesso em: 22 set. 2017.

TSOURLIDAKI, E. et al. An investigation with european science teachers on how to characterize remote and virtual labs. In: *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 774–781.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. *Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação (PPGTIC) - Linhas de Pesquisa*. 2017. Disponível em: <<http://ppgtic.ufsc.br/linhas-de-pesquisa/>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

VALENTE, J. A. Tecnologias digitais de informação e comunicação e currículo: trajetórias convergentes ou divergentes? In: *V Seminário de Informática na Educação: as convergências/divergências das inovações tecnológicas nos cenários da educação básica ao ensino superior*. Sinop: Universidade do Estado de Mato Grosso, 2013.

VENANT, R. et al. Using sequential pattern mining to explore learners' behaviors and evaluate their correlation with performance in inquiry-based learning. In: *12th European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2017*. Tallinn, Estonia: [s.n.], 2017. p. 286–299.

VENANT, R.; VIDAL, P.; BROISIN, J. Evaluation of learner performance during practical activities: An experimentation in computer education. In: *IEEE 16th International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2016*. Austin, EUA: IEEE, 2016. p. 237–241.

_____. Learning analytics for learner awareness in remote laboratories dedicated to computer education. In: *Workshop on Learning Analytics for Learners in 6th International Conference on Learning Analytics and Knowledge (LAK 2016)*. New York, NY, USA: ACM, 2016. p. 31–37.

VICARI, R. M. et al. Proposta brasileira de metadados para objetos de aprendizagem baseados em agentes (OBAA). *Revista Novas Tecnologias na Educação*, Porto Alegre, v. 8, n. 2, 2010.

_____. *Proposta de Padrão para Metadados de Objetos de Aprendizagem Multiplataforma*. 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Raymundo_Filho/publication/264458048_RT-OBAA-01/links/53e01b6b0cf2a768e49f5844/RT-OBAA-01.pdf>. Acesso em 20 jan. 2018.

VIDAL, J. C.; RABELO, T.; LAMA, M. Semantic description of the experience api specification. In: *2015 IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies*. Hualien, Taiwan: IEEE, 2015. p. 268–269. ISSN 2161-3761.

WISINTAINER, M. A. *RExLab: Laboratório de Experimentação Remota com o microcontrolador 8051*. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

WUTTKE, H.-D.; HAMANN, M.; HENKE, K. Integration of remote and virtual laboratories in the educational process. *International Journal of Online Engineering*, v. 11, n. 3, p. 62–67, 2015.

_____. Learning analytics in online remote labs. In: *exp.at 2015 - 3rd Experiment International Conference: Online Experimentation*. Ponta Delgada, Portugal: IEEE, 2015. p. 255–260.

YESA, S. R. *AAAS: Modelo de evaluación automática de competencias en el laboratorio remoto visir, através de learning analytics y rúbricas de aprendizaje*. Tese (Doutorado em Engenharia Informática e Telecomunicação) — Universidad de Deusto, 2015.

ZACKRISSON, J.; SVAHNBERG, C. Openlabs security laboratory - the online security experiment platform. *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, v. 4, n. Special Issue: REV 2008, p. 63–68, 2008.

ZERVAS, P.; FISKILIS, S.; SAMPSON, D. G. Ask4labs: A web-based repository for supporting learning design driven remote and virtual labs recommendations. In: *11th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age, CELDA 2014*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 172–179.

ZERVAS, P. et al. Towards competence-based learning design driven remote and virtual labs recommendations for science teachers. *Technology, Knowledge and Learning*, v. 20, n. 2, p. 185–199, 2015.

_____. Towards a metadata schema for characterizing lesson plans supported by virtual and remote labs in school science education. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age, CELDA 2015*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 3–10.

ZUBÍA, J. G.; ALVES, G. R. (Ed.). Book. *Using Remote Labs in Education: Two Little Ducks in Remote Experimentation*. 1. ed. Bilbao: University of Deusto, 2011. ISBN 978-84-9830-398-8.

ZUTIN, D. G. et al. Lab2go: A repository to locate educational online laboratories. In: *IEEE EDUCON 2010 Conference*. Madrid, Espanha: IEEE, 2010. p. 1741–1746. ISBN 2165-9559.

APÊNDICE A -- REVISÃO SISTEMÁTICA

Quadro 14 – Trabalhos Analisados

Ano	Título	Autores	Periódico/Evento	Tipo de Documento
2007	WebLab: A generic architecture for remote laboratories	A. Agrawal e S. Srivastava	International Conference on Advanced Computing and Communications	Anais de Evento
2011	A metadata model for online laboratories	P. P. Grube, D. Boehringer, T. Richter, C. Spiecker, N. Natho, C. Maier e D. Zutin	IEEE Global Engineering Education Conference	Anais de Evento
2012	Remote laboratories for optical metrology: From the lab to the cloud	W. Osten, M. Wilke, e G. Pedrini	SPIE - The International Society for Optical Engineering	Anais de Evento
2012	A Standardized Metadata Set for Annotation of Virtual and Remote Laboratories	T. Richter, P. Grube e D. Zutin	IEEE International Symposium on Multimedia	Anais de Evento
2014	ASK4Labs: A web-based repository for supporting learning design driven remote and virtual labs recommendations	P. Zervas, S. Fiskilis, e D. G. Sampson	International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age	Anais de Evento
2015	The smart device specification for remote labs	C. Salzmann, S. Govaerts, W. Halimi e D. Gillet	International Journal of Online Engineering	Artigo
2015	An investigation with European science teachers on how to characterize Remote and Virtual Labs	E. Tsourlidaki, P. Zervas, S. Sotiriou e D. G. Sampson	IEEE Global Engineering Education Conference	Anais de Evento
2015	Towards Competence-Based Learning Design Driven Remote and Virtual Labs Recommendations for Science Teachers	P. Zervas, P. S. Sergis, S. D. G. Sampson e S. Fyskilis	Technology, Knowledge and Learning	Artigo
2015	Towards a metadata schema for characterizing lesson plans supported by virtual and remote labs in school science education	P. Zervas, E. Tsourlidaki, E. Sotiriou e D. G. Sampson.	International Conference on Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age	Anais de Evento

APÊNDICE B -- MODELO DE DADOS

Quadro 15 – Modelo de Dados

Propriedade	Valor	Uso
<i>Actor</i>		
name	Nome do ator	Obrigatório
account		
homePage	URL da página inicial do sistema de gerenciamento de contas	Obrigatório
name	Identificador do usuário no sistema de gerenciamento de contas	Obrigatório
<i>Verb</i>		
id	IRI do verbo	Obrigatório
display	Mapa dos códigos de idioma para visualização do valor	"en": "display" Obrigatório
<i>Object</i>		
id	IRI da atividade	Obrigatório
definition		
name	Mapa dos códigos de idioma para visualização do nome da atividade	Preferencial
description	Mapa dos códigos de idioma para visualização da descrição da atividade	Opcional
type	IRI representando o tipo de atividade	Obrigatório
moreInfo	URL para mais informações	Opcional
extensions		
<i>Result</i>		
score		
success	Booleano representando o sucesso do estudante	Opcional
completion	Booleano representando se o estudante completou a atividade	Opcional
response	Resposta do estudante sobre a atividade	Opcional
duration	Duração do tempo gasto na atividade (duração ISO 8601)	Opcional
extensions		
sensors	Objeto que contém os sensores com seus valores atuais	Opcional
actuators	Objeto que contém os atuadores em seus estados atuais	Opcional
<i>Context</i>		

registration	UUID	Opcional
instructor	Agent	Opcional
team	Group	Opcional
contextActivities	Object	Opcional
revision	String	Opcional
platform	String	Opcional
language	String / código de idioma	Opcional
statement	Statement	Opcional
extensions		
sensors	Objeto que contém os sensores com seus valores atuais	Opcional
actuators	Objeto que contém os atuadores em seus estados atuais	Opcional
timestamp	ISO timestamp String	Obrigatório
<i>Attachments</i>		
		Opcional

APÊNDICE C -- DEFINIÇÃO DOS VERBOS

Quadro 16 – Descrição do verbo '*launched*'

Verbo	<i>Launched</i> (Acessou)
ID	http://adlnet.gov/expapi/verbs/launched
Descrição	Um laboratório foi acessado
Obrigações do LRP	O LRP deve utilizar este verbo sempre que a página/interface de acesso ao laboratório for carregada
Uso	Um <i>statement</i> com o verbo ' <i>launched</i> ' é enviado toda vez que o laboratório é acessado, logo antes do início da sessão.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 17 – Descrição do verbo '*initialized*'

Verbo	<i>Intilized</i> (Inicializou)
ID	http://adlnet.gov/expapi/verbs/initialized
Descrição	Uma sessão foi inicializada.
Obrigações do LRP	O LRP deve utilizar este verbo no primeiro <i>statement</i> enviado ao LRS no início da sessão, e não deve utilizá-lo novamente até que a sessão em andamento seja finalizada.
Uso	Um <i>statement</i> com o verbo ' <i>initialized</i> ' é enviado toda vez que uma nova sessão é iniciada em um laboratório.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 18 – Descrição do verbo '*exited*'

Verbo	<i>Exited</i> (Saiu)
ID	http://adlnet.gov/expapi/verbs/exited
Descrição	O estudante encerrou uma sessão
Obrigações do LRP	O LRP deve utilizar este verbo sempre que a sessão for finalizada pelo usuário, e nunca quando ela for abandonada pelo usuário
Uso	Um <i>statement</i> com o verbo ' <i>exited</i> ' é enviado toda vez que a sessão de acesso ao laboratório é finalizada pelo estudante.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 19 – Descrição do verbo '*abandoned*'

Verbo	<i>Abandoned</i> (Abandonou)
ID	http://adlnet.gov/expapi/verbs/abandoned
Descrição	O estudante abandonou uma sessão
Obrigações do LRP	O LRP deve utilizar este verbo sempre que a sessão for abandonada pelo usuário, e nunca ao final da sessão
Uso	Um <i>statement</i> com o verbo ' <i>abandoned</i> ' é enviado toda vez que a sessão de acesso ao laboratório é abandonada pelo estudante.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 20 – Descrição do verbo '*viewed*'

Verbo	<i>Viewed</i> (Visualizou)
ID	http://id.tincanapi.com/verb/viewed
Descrição	O estudante visualizou algo no laboratório
Obrigações do LRP	Opcional
Uso	O verbo ' <i>viewed</i> ' é utilizado quando o usuário visualizou algo no laboratório, como alguma mensagem ou tutorial.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 21 – Descrição do verbo '*exported*'

Verbo	<i>Exported</i> (Exportou)
ID	http://example.com/gtmre/verbs/exported
Descrição	O estudante exportou dados do laboratório
Obrigações do LRP	Opcional
Uso	O verbo ' <i>exported</i> ' é utilizado quando o usuário exportou dados do laboratório, como um arquivo de configuração ou os dados de leitura dos sensores.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 22 – Descrição do verbo '*uploaded*'

Verbo	<i>Uploaded</i> (Enviou)
ID	http://example.com/gtmre/verbs/uploaded
Descrição	O estudante submeteu algo ao laboratório
Obrigações do LRP	Opcional
Uso	O verbo ' <i>uploaded</i> ' é utilizado quando o estudante submete algo ao laboratório. Pode ser utilizado em laboratórios remotos em lote, quando a configuração é submetida para a execução, por exemplo.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 23 – Descrição do verbo *'set'*

Verbo	<i>Set</i> (Definiu)
ID	http://example.com/gtmre/verbs/set
Descrição	O estudante definiu um valor a ser usado no laboratório
Obrigações do LRP	Opcional
Uso	O verbo <i>'set'</i> é utilizado quando o estudante define uma valor para algum parâmetro de configuração dos atuadores de um laboratório.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 24 – Descrição do verbo *'moved'*

Verbo	<i>Moved</i> (Moveu)
ID	http://example.com/gtmre/verbs/moved
Descrição	O estudante moveu algo no laboratório
Obrigações do LRP	Opcional
Uso	O verbo <i>'moved'</i> é utilizado quando o estudante move algum componente do laboratório. Pode ser usado em atuadores como motores ou com componentes da interface de usuário, por exemplo.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 25 – Descrição do verbo *'returned'*

Verbo	<i>Returned</i> (Retornou)
ID	http://activitystrea.ms/schema/1.0/return
Descrição	O laboratório retornou algo para o estudante
Obrigações do LRP	Opcional
Uso	O verbo <i>'returned'</i> é utilizado quando algum valor é retornado pelo laboratório ao estudante. Quaisquer leituras de sensores, por exemplo, são enviadas em statements usando este verbo.

Fonte: Elaborado pelo autor