

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**WONTOVLAB: UM PROCESSO PARA AUTORIA DE LABORATÓRIOS
VIRTUAIS BASEADO EM WORKFLOWS E ONTOLOGIAS**

Daniel Cintra Cugler

São Carlos

JUNHO/2010

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**WONTOVLAB: UM PROCESSO PARA AUTORIA DE LABORATÓRIOS
VIRTUAIS BASEADO EM WORKFLOWS E ONTOLOGIAS**

Daniel Cintra Cugler

**Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Ciência da Computação para
obtenção do título de mestre.**

***Orientação: Profa. Dra. Marilde
Terezinha Prado Santos***

São Carlos

JUNHO/2010

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

C965wp

Cugler, Daniel Cintra.

WOntoVLab : um processo para autoria de laboratórios virtuais baseado em workflows e ontologias / Daniel Cintra Cugler. -- São Carlos : UFSCar, 2010.

77 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2010.

1. Banco de dados. 2. Laboratórios virtuais. 3. Ontologia. 4. Workflow. 5. Protocolos alternativos. 6. XPD (Linguagem XML para definição de processos). I. Título.

CDD: 005.74 (20ª)

Universidade Federal de São Carlos

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia


Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

**“WONTOVLAB: Um processo para autoria de
Laboratórios Virtuais baseado em Workflows e
Ontologias”**

DANIEL CINTRA CUGLER

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ciência da
Computação da Universidade Federal de São
Carlos, como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Mestre em Ciência da
Computação

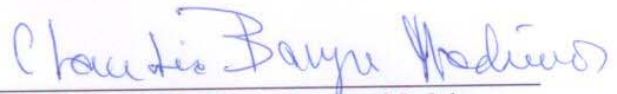
Membros da Banca:



Profa. Dra. Marilde Terezinha Prado Santos
(DC/UFSCar)



Prof. Dr. Ricardo Rodrigues Ciferri
(DC/UFSCar)



Profa. Dra. Claudia Maria Bauzer Medeiros
(IC/UNICAMP)

São Carlos
Junho/2009

*Dedico esta pesquisa a todos que direta
ou indiretamente contribuíram para que ela se tornasse
realidade.*

*Aos meus pais, que sempre me
motivaram e me ensinaram a importância do
conhecimento.*

*À professora Dra. Marilde, que me
orientou com paciência e sabedoria durante toda esta
pesquisa.*

*Em especial, ao professor
Dr. Mauro Bizjiz (in memoriam),
quem me concedeu a oportunidade de ser seu aluno de
mestrado, o que sem sombra de dúvidas, mudou a
minha vida para sempre...*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelos esforços despendidos na educação excepcional que me proporcionaram e por mostrarem-me que o conhecimento é ferramenta essencial em nossas vidas.

Aos colegas do laboratório LINCE e do grupo de bancos de dados, que com sinergia criaram um ambiente favorável ao meu crescimento intelectual.

Ao professor Dr. Cesar Augusto Camillo Teixeira e à FAPESP, por me darem a oportunidade de trabalhar no projeto TIDIA-Ae, o qual permitiu aprimorar meus conhecimentos em programação, além de dar o apoio financeiro responsável por meu sustento durante o mestrado.

À minha orientadora, Marilde, pelos ensinamentos transmitidos e apoio durante todo o mestrado.

Ao professor Mauro (*in memoriam*), que me deu a oportunidade de concretizar um sonho: fazer mestrado na Universidade Federal de São Carlos.

Ao professor Dr. João Eduardo Ferreira, que em uma breve oportunidade me orientou sabiamente a seguir caminhos que possibilitaram alcançar os resultados colhidos nesta pesquisa.

À MSc. Cristiane Akemi Yaguinuma, que com paciência muitas vezes me orientou e transmitiu seus valiosos conhecimentos, sendo uma das responsáveis pela conclusão deste trabalho.

À FAPESP, pelo financiamento dos projetos Tidia-Ae fase 2, processo 2005/60653-1, e PIPE, processo 07/51636-1, cujos escopos foram utilizados nesta pesquisa.

À Dra. Célia Maria de Jesus, coordenadora do projeto PIPE e especialista do domínio do estudo de caso detalhado no capítulo 5, pela sua dedicação, preocupação e apoio na concretização desta pesquisa.

Às minhas irmãs, Priscilla e Vanessa, que mesmo distantes, estão presentes em todos os momentos da minha vida.

À minha namorada, Juliana, pela constante presença e apoio na concretização de meus sonhos.

E por fim, ao grande arquiteto do universo, Deus, por todas as oportunidades que me propicia, as quais vão, sem sombra de dúvidas, além do que mereço.

"Aprendi que ninguém é digno do pódio se não usar suas derrotas para alcançá-lo. Ninguém é digno de sabedoria se não usar suas lágrimas para cultivá-la. Ninguém terá prazer no estrelato se desprezar a beleza das coisas simples no anonimato. Pois nela se esconde o segredo da felicidade."

Augusto Cury

RESUMO

Laboratórios virtuais são utilizados comumente por instituições de ensino para auxiliar no processo de aprendizagem, porém também são utilizados pela indústria em demonstrações, testes e treinamentos. A forma tradicional de se realizar práticas laboratoriais é por meio de laboratórios reais, porém para sua criação é preciso investir, muitas vezes, alto valor financeiro na aquisição de aparatos e na disponibilização de espaço físico para sua instalação. Neste contexto, laboratórios virtuais vêm sendo utilizados como solução econômica para prover ambientes de experimentação, pois permitem a simulação de experimentos em computadores sem a necessidade da existência de laboratórios reais. No entanto, para que laboratórios virtuais provejam um ambiente similar ao real, é recomendável não só a criação de experimentos que exijam o cumprimento de um protocolo, mas também permitir que aprendizes identifiquem diferentes possibilidades de execução de uma mesma tarefa, considerando aparatos e procedimentos similares. Neste contexto, é definido neste trabalho o processo WOntoVLab, um processo para autoria de laboratórios virtuais que se baseia no uso de tecnologias de representação de *workflows* e ontologias a fim de permitir a recomendação de aparatos no processo de autoria e de representar experimentos baseados em vocabulário semântico e passos alternativos. Também é detalhado um estudo de caso realizado no domínio de biologia molecular, focado no experimento de extração de DNA. O estudo de caso é realizado por meio do protótipo do laboratório virtual desenvolvido, o qual é totalmente baseado no processo WOntoVLab. Por fim, são destacadas as contribuições deste trabalho: o processo WOntoVLab, o *framework* WPF e o *framework* WPF-WS.

ABSTRACT

Virtual laboratories can be used by educational institutions to facilitate and enrich the learning of specific procedures, however they can be also used by industry in demonstrations, tests and trainings. Laboratorial practices are normally performed in physical laboratories, but sometimes it is necessary to afford a great amount of money to acquire apparatuses and physical space to build them. In this context, virtual laboratories have been used as a solution at less cost to provide environments that support the simulation of experiments in computers. However, in order to provide such an environment, it is recommended that users not only create experiments that require the accomplishment of a protocol (guide), but also be able to identify different possibilities of execution of a same task, considering similar apparatuses and procedures. In this context, it is defined in this research the WOntoVLab, a virtual laboratory authorship process based on workflows and ontologies that performs recommendations of apparatuses in the authorship process and also represents experiment protocols based on semantic vocabulary and alternative steps. It is also detailed a estudy case performed in the molecular biology domain, focused in the DNA extraction experiment. The study case is performed using the virtual laboratory prototype developed, which is totally based in the WOntoVLab process. Lastly, it is mentioned the contributions of this research: the WOntoVLab process, WPF framework and WPF-WS framework.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DIFERENTES MANEIRAS DE EXECUTAR UM EXPERIMENTO, AS QUAIS CONDUZEM A UM MESMO RESULTADO	14
FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO DO PADRÃO <i>SEQUENCE</i> – FIGURA EXTRAÍDA DE HTTP://WWW.WORKFLOWPATTERNS.COM	26
FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO DO PADRÃO <i>PARALLEL SPLIT</i> – FIGURA EXTRAÍDA DE HTTP://WWW.WORKFLOWPATTERNS.COM	27
FIGURA 4 - REPRESENTAÇÃO DO PADRÃO <i>SYNCHRONIZATION</i> – FIGURA EXTRAÍDA DE HTTP://WWW.WORKFLOWPATTERNS.COM	27
FIGURA 5 - REPRESENTAÇÃO DO PADRÃO <i>EXCLUSIVE CHOICE</i> – FIGURA EXTRAÍDA E ADAPTADA DE HTTP://WWW.WORKFLOWPATTERNS.COM	28
FIGURA 6 - REPRESENTAÇÃO DO PADRÃO <i>SIMPLE MERGE</i> – FIGURA EXTRAÍDA DE HTTP://WWW.WORKFLOWPATTERNS.COM	28
FIGURA 7 - TIPOS DE ONTOLOGIAS, DE ACORDO COM SUA DEPENDÊNCIA EM RELAÇÃO A UMA TAREFA OU PONTO DE VISTA PARTICULAR. FIGURA EXTRAÍDA DE (GUARINO, 1998).....	35
FIGURA 8 - PROCESSO WONTOVLAB	38
FIGURA 9 - ETAPA "CRIAR EXPERIMENTO" DO PROCESSO WONTOVLAB	38
FIGURA 10 - ETAPA "EXECUTAR EXPERIMENTO" DO PROCESSO WONTOVLAB	41
FIGURA 11 - ETAPA "AVALIAR EXPERIMENTO" DO PROCESSO WONTOVLAB.....	43
FIGURA 12 - VISÃO GLOBAL DO LABORATÓRIO VIRTUAL DESENVOLVIDO NO AMBIENTE TIDIA-AE E DO <i>FRAMEWORK</i> WPF.....	49
FIGURA 13 - DIFERENTES LABORATÓRIOS VIRTUAIS, DE DIFERENTES DOMÍNIOS, ACESSANDO OS MÉTODOS DO WPF POR MEIO DE <i>WEB SERVICES</i> (WPF-WS).	52
FIGURA 14 – TELA PRINCIPAL DO AMBIENTE TIDIA-AE.	53
FIGURA 15 - ESQUEMA CONCEITUAL DO BANCO DE DADOS.	56
FIGURA 16 - TELA DE CADASTRO DOS PASSOS QUE COMPÕEM UM EXPERIMENTO.....	57
FIGURA 17 – TELA DE EXECUÇÃO DE EXPERIMENTOS.	58
FIGURA 18 – TELA DE AVALIAÇÃO DE EXPERIMENTOS.	59
FIGURA 19 - REPRESENTAÇÃO PARCIAL DE UMA ONTOLOGIA DO DOMÍNIO DE BIOLOGIA MOLECULAR	61
FIGURA 20 - REPRESENTAÇÃO DO PROTOCOLO DO EXPERIMENTO "EXTRAÇÃO DE DNA" POR MEIO DE UM DIAGRAMA DE ESTADOS..	63
FIGURA 21 - TRECHO DA ONTOLOGIA DE APLICAÇÃO DE EXTRAÇÃO DE DNA	68

LISTAGENS

LISTAGEM 1 - DESAFIOS PARA SEREM SUPERADOS NO DESENVOLVIMENTO DE LABORATÓRIOS VIRTUAIS	12
LISTAGEM 2 - DESAFIOS PARA SEREM SUPERADOS NO DESENVOLVIMENTO DE LABORATÓRIOS VIRTUAIS	23
LISTAGEM 3 - ESTRUTURA BÁSICA DE UM DOCUMENTO XPDL.....	25
LISTAGEM 4 - TRECHO DE UMA ONTOLOGIA REPRESENTADA EM OWL.....	32
LISTAGEM 5 - REPRESENTAÇÃO DO ALGORITMO EMPREGADO NO <i>MÓDULO DE AUTORIA</i>	40
LISTAGEM 6 - REPRESENTAÇÃO DO ALGORITMO EMPREGADO NO <i>MÓDULO DE INSTANCIÇÃO</i>	42
LISTAGEM 7 - REPRESENTAÇÃO DO ALGORITMO EMPREGADO NO <i>MÓDULO DE AVALIAÇÃO</i>	45
LISTAGEM 8 - TRECHO DE CÓDIGO XPDL DO WORKFLOW DE AUTORIA	65
LISTAGEM 9 - TRECHO DE CÓDIGO XPDL DO <i>WORKFLOW</i> DE INSTANCIÇÃO	67
LISTAGEM 10 - DESAFIOS ENFRENTADOS NO DESENVOLVIMENTO DE LABORATÓRIOS VIRTUAIS E SUPERADOS ATRAVÉS DO PROCESSO WONTOLAB.....	70

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - VANTAGENS E DESVANTAGENS ENTRE OS DIFERENTES TIPOS DE LABORATÓRIO.....	18
TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS COMUNS ENTRE LABORATÓRIOS VIRTUAIS	22
TABELA 3 - NÚMERO DIFERENTE DE APARATOS UTILIZADOS NA AUTORIA E EXECUÇÃO DO EXPERIMENTO	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EAD - Ensino a Distância.

FAPESP - Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo.

FAQ - *Frequently Asked Question.*

LMS - *Learning Management System.*

OWL - *Web Ontology Language.*

PIPE - Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas.

SADT - *Structured Analysis and Design Technique.*

SBC - Sociedade Brasileira de Computação.

TI – Tecnologia da Informação.

TIDIA-AE - Tecnologia da Informação para o Desenvolvimento da Internet Avançada –
Aprendizado Eletrônico.

URL - *Uniform Resource Locator.*

WfMC - *Workflow Management Coalition.*

WOntoVLab - *Workflow and Ontology-based Virtual Laboratory Authorship Process.*

WPF - *WOntoVLab Process Framework.*

WPF-WS - *WOntoVLab Process Framework – Web Service*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	MOTIVAÇÃO	11
1.2	OBJETIVO.....	12
1.3	METODOLOGIA	14
1.4	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	15
2	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	17
2.1	LABORATÓRIOS VIRTUAIS	17
2.1.1	<i>Definição e caracterização.....</i>	17
2.1.2	<i>Laboratórios virtuais identificados na literatura</i>	19
2.1.3	<i>Considerações Finais.....</i>	23
2.2	TECNOLOGIA DE REPRESENTAÇÃO DE WORKFLOW (XPD)	24
2.2.1	<i>Definição e caracterização.....</i>	24
2.2.2	<i>Padrões de workflow</i>	26
2.2.3	<i>Trabalhos que utilizam workflow para representar protocolos.....</i>	29
2.2.4	<i>Considerações Finais.....</i>	30
2.3	ONTOLOGIAS.....	30
2.3.1	<i>Definição e caracterização.....</i>	30
2.3.2	<i>Representação de ontologias</i>	32
2.3.3	<i>Importância das Ontologias</i>	33
2.3.4	<i>Tipos de ontologias.....</i>	34
2.3.5	<i>Aplicação de ontologias.....</i>	35
2.3.6	<i>Considerações finais</i>	36
3	PROCESSO WONTOVLAB	37
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	37
3.2	UM PROCESSO PARA AUTORIA DE LABORATÓRIOS VIRTUAIS BASEADO EM <i>WORKFLOWS</i> E ONTOLOGIAS	38
3.2.1	<i>Etapa “Criar Experimento”</i>	38
3.2.2	<i>Etapa “Executar Experimento”</i>	41
3.2.3	<i>Etapa “Avaliar Experimento”</i>	43
3.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
4	ASPECTOS DE IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO	48
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	48
4.2	WPF (<i>WONTOVLAB PROCESS FRAMEWORK</i>)	50
4.3	AMBIENTE TIDIA-AE	53
4.4	PROTÓTIPO DE UM LABORATÓRIO VIRTUAL NO AMBIENTE TIDIA-AE	54
5	ESTUDO DE CASO.....	60
5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	60
5.2	APLICANDO O PROCESSO WONTOVLAB: UM ESTUDO DE CASO PARA O EXPERIMENTO “EXTRAÇÃO DE DNA”	60
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
6	CONCLUSÕES.....	70
6.1	RESULTADOS ALCANÇADOS	70
6.2	CONTRIBUIÇÕES.....	71

6.3	PRODUÇÃO CIENTÍFICA	72
6.4	TRABALHOS FUTUROS.....	73
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma introdução sobre este trabalho. Na seção 1.1 são descritos detalhes que conduziram à motivação para o desenvolvimento desta pesquisa. Na seção 1.2 são descritos os objetivos a serem alcançados. Na seção 1.3 a metodologia adotada. Na seção 1.4 a organização dos capítulos que compõem esta dissertação de mestrado.

1.1 MOTIVAÇÃO

Laboratórios virtuais permitem a simulação de experimentos em computadores, sem a necessidade da existência de laboratórios reais. Além disso, têm o objetivo de prover um ambiente onde sejam disponibilizados todos os aparatos necessários para a realização de práticas laboratoriais. Neste trabalho, “aparato” é o termo utilizado para referenciar tudo o que é disponibilizado pelo laboratório virtual (por exemplo, materiais, soluções, equipamentos, reagentes, etc.).

Laboratórios virtuais são utilizados comumente por instituições de ensino para auxiliar no processo de aprendizagem, porém também são utilizados pela indústria em demonstrações, testes e treinamentos. Laboratórios virtuais não visam substituir laboratórios reais, mas sim agregar valor aos mesmos. Embora exista uma vasta gama de possibilidades de uso de laboratórios virtuais, o desenvolvimento deste trabalho foi baseado em seu emprego para fins de aprendizagem, culminando no estudo de caso *Extração de DNA genômico de tecidos sólidos*.

Neste trabalho foram adotadas as seguintes nomenclaturas para os atores envolvidos no cenário de uso de laboratórios virtuais: *projetista do experimento* é o indivíduo que elabora uma experimentação para prática laboratorial e *aprendiz* é o indivíduo que exercita a prática laboratorial, ou seja, aquele que executa o experimento projetado.

Para que seja possível avaliar o desempenho dos aprendizes, é interessante que os experimentos exijam o cumprimento de um protocolo. Entende-se por protocolo, o conjunto de passos que compõem um experimento (roteiro). No entanto, experimentos que possuam vários protocolos alternativos de execução, possibilitam resultados ainda melhores por permitir ao aprendiz explorar sua criatividade e conhecimento prévio. É possível, ainda, auxiliar o projetista do experimento avaliar o aprendiz pelo emprego adequado desses recursos.

Nenhum dos laboratórios virtuais pesquisados e citados na seção 2.1.2 permitem a elaboração de experimentos baseados em dados semânticos e que solicitem o

cumprimento de um protocolo. Sendo assim, aprendizes podem executar qualquer experimentação no ambiente virtual disponibilizado, não havendo garantia de que o objetivo do experimento seja alcançado. Após uma análise detalhada desses laboratórios virtuais, foi possível identificar e enumerar alguns desafios encontrados em seu desenvolvimento, conforme descrito na Listagem 1:

1. Permitir que experimentos sejam criados conforme as necessidades dos projetistas
2. Possibilitar a criação de protocolos (roteiro)
3. Realizar recomendações (representação semântica dos aparatos)
4. Explorar a criatividade dos usuários, permitindo a execução de passos não previstos no protocolo (protocolos alternativos)
5. Avaliar o desempenho dos usuários

Listagem 1 - Desafios para serem superados no desenvolvimento de laboratórios virtuais.

Neste contexto, foi desenvolvido o processo WOntoVLab como resultado de uma pesquisa que buscou transpor os desafios destacados para o desenvolvimento de laboratórios virtuais que atendam os requisitos citados.

É relevante destacar que esta pesquisa se enquadra em um dos grandes desafios da pesquisa em computação no Brasil, proposto pela SBC (MEDEIROS, 2008): “*Modelagem computacional de sistemas complexos artificiais, naturais e socioculturais e da interação homem-natureza*” que objetiva a modelagem e simulação computacionais, conduzindo à redução de custos através da execução de experimentos virtuais.

1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é definir um processo que auxilie a autoria de laboratórios virtuais que permitam a elaboração de protocolo padrão e também de protocolos alternativos para a correta execução dos experimentos propostos. Assim foi definido o WOntoVLab, um processo para autoria de laboratórios virtuais que ampara a criação, execução e avaliação de experimentos através do uso de tecnologia de representação de *workflows* e ontologias, a fim de delinear experimentos baseados em protocolos de execução e em vocabulário semântico. Outras características do processo WOntoVLab são sua capacidade de recomendar aparatos na autoria dos experimentos e a possibilidade de permitir

aos aprendizes executarem passos não previstos pelos projetistas nos protocolos padrões (emprego de protocolos alternativos) desde que alcancem o mesmo objetivo.

A possibilidade de execução de protocolos alternativos permite aos aprendizes executarem experimentos baseados em seus objetivos e não em protocolos estáticos, isto é, permite aos aprendizes conduzirem seus experimentos da maneira que desejarem, desde que alcancem o objetivo traçado pelo projetista do experimento. Na Figura 1 são representados os fluxos de um experimento que pode ser realizado de 3 maneiras diferentes (Fluxo principal, fluxo alternativo 1 e fluxo alternativo 2). Um experimento desenvolvido com base nesses princípios permite que aprendizes realizem experimentações explorando sua criatividade e conhecimento adquirido.

Para um breve entendimento entre as diferenças dos laboratórios virtuais identificados na literatura (descritos na seção 2.1.2) e um laboratório virtual desenvolvido através do processo WOntoVLab (Seção 3), pode-se imaginar a seguinte situação:

Um projetista cria um experimento estipulando todos os passos necessários para sua execução. Em sua execução é solicitado ao aprendiz aquecer água salgada a uma temperatura de 40 graus. Se o experimento for desenvolvido em um laboratório virtual onde não há flexibilidade em sua execução, o aprendiz não tem outra escolha a não ser utilizar a água salgada disponibilizada pelo laboratório e aquecê-la conforme solicitado. Já em um laboratório virtual desenvolvido através do processo WOntoVLab, é possível explorar as seguintes situações:

- O aprendiz não quer utilizar a água salgada disponibilizada pelo laboratório e pretende então unir outros dois elementos, água e sal, e continuar o experimento com a nova substância gerada por ele;
- O aprendiz pretende homogeneizar a solução composta pelos elementos água e sal antes de aquecê-la a uma temperatura de 40 graus. Neste caso, o laboratório virtual poderia verificar por meio de inferências sobre ontologias, por exemplo, que o processo de homogeneização pode ser realizado neste passo, mesmo que não tenha sido previsto pelo projetista do experimento.

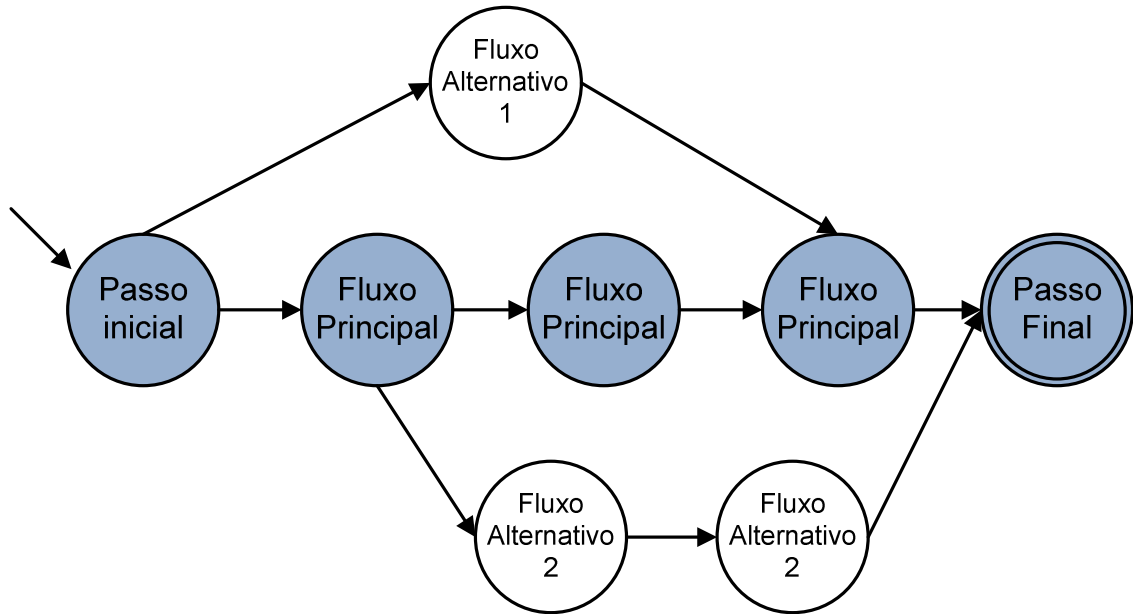


Figura 1 – Diferentes maneiras de executar um experimento, as quais conduzem a um mesmo resultado

Dessa forma, o uso de ontologias e tecnologias de representação de *workflows* oferece uma assertiva para a criação de laboratórios virtuais que explora de forma mais eficiente a sedimentação do conhecimento dos aprendizes.

Outro objetivo do WOntoVLab é prover um processo genérico para criação de laboratórios virtuais com base nos objetivos citados, isto é, prover um processo que se adequa a qualquer domínio, sendo que para isso é necessário apenas modificar a ontologia utilizada (detalhes do processo WOntoVLab são descritos na seção 3.2).

1.3 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho consistiu em levantamento bibliográfico baseado em publicações de periódicos e eventos, aliado à pesquisa de ferramentas e tecnologias que auxiliassem seu desenvolvimento.

Inicialmente foi realizado um comparativo entre laboratórios virtuais identificados na literatura, com o intuito de detectar as deficiências encontradas e possibilitar propor um trabalho capaz de suprir mecanismos para transpô-las. Esse estudo é apresentado no capítulo 2.

Após um detalhado estudo de inúmeras tecnologias, detectou-se que ontologias e tecnologias de representação de *workflows* poderiam auxiliar na construção de uma solução que atingisse os objetivos estabelecidos. Dessa forma, os conceitos e ferramentais que

implementam tais tecnologias foram estudados e analisados. Essas tecnologias são também apresentadas no capítulo 2.

Com os conhecimentos adquiridos foi possível seguir para definição de propostas que evoluíram até a obtenção do processo WOntoVLab que, independente de domínio, objetiva prover um processo genérico baseado em tecnologia de representação de *workflows* e ontologias para a autoria de laboratórios virtuais. A definição e ajuste desse processo foram constantemente aprimorados no decorrer da pesquisa, através do surgimento de novos requisitos e de orientações de especialistas. O processo WOntoVLab é apresentado em detalhes no capítulo 3.

Devido ao fato desta pesquisa ter sido originada no contexto de um projeto PIPE FAPESP (BIAJIZ, 2008) com foco em biologia molecular, empregou-se como estudo de caso para validação desse processo a criação de um laboratório virtual para o domínio de biologia molecular, dentro do qual foi elaborado o experimento “Extração de DNA”. Para este estudo de caso foi criada uma ontologia de domínio e uma ontologia de aplicação sob a supervisão da Dra. Célia Maria de Jesus, especialista em genética e evolução, e coordenadora do projeto PIPE supracitado. Os detalhes desse estudo de caso são apresentados no capítulo 5.

Em paralelo à definição do processo WOntoVLab e construção do estudo de caso foi estudado e acompanhado o desenvolvimento de ferramentas para o ambiente de aprendizado eletrônico TIDIA-Ae (FAPESP), Neste ambiente foi testado o protótipo desenvolvido nesta pesquisa.

As diversas etapas de desenvolvimento e refinamento da solução apresentada neste trabalho foram relatadas em artigos científicos. A interação com pesquisadores nos eventos e as críticas recebidas nas avaliações dos artigos facilitaram o aperfeiçoamento deste trabalho.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

No capítulo 2 é apresentado um levantamento bibliográfico sobre laboratórios virtuais, tecnologia de representação de *workflows* e ontologias. Além disso, são comparados os laboratórios virtuais pesquisados e destacadas suas deficiências. No capítulo 3 é detalhado o processo WOntoVLab. No capítulo 4 são descritos os aspectos de implementação dos protótipos desenvolvidos. No capítulo 5 é apresentado o estudo de caso realizado para o experimento “Extração de DNA” através do uso do *framework* WPF, a fim de validar o processo WOntoVLab. No capítulo 6 são comentados os resultados e contribuições

alcançados, além dos trabalhos futuros previstos para o aprimoramento do processo WOntoVLab.

2 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Este capítulo apresenta os principais conceitos referentes ao levantamento bibliográfico realizado durante o desenvolvimento desta dissertação de mestrado. Na seção 2.1 são apresentados os conceitos sobre laboratórios virtuais. Na seção 2.2 tecnologias de representação de *workflows*. Na seção 2.3 conceitos sobre ontologias.

2.1 LABORATÓRIOS VIRTUAIS

Nesta seção é apresentado um levantamento bibliográfico sobre “laboratórios virtuais”. São contextualizados os diferentes tipos de laboratórios e elaborada uma comparação entre eles. Na literatura pesquisada foram identificados três tipos de laboratórios: laboratórios reais, laboratórios remotos e laboratórios virtuais.

2.1.1 Definição e caracterização

Os laboratórios reais são os laboratórios comuns existentes, ou seja, aqueles que possuem infra-estrutura física real, incluindo salas, equipamentos e técnicos responsáveis. Nesses laboratórios, aprendizes manipulam os equipamentos presencialmente e usufruem um ambiente colaborativo. Em contra partida, possuem limitações de espaço físico, de tempo de uso dos equipamentos, de questões financeiras, entre outras.

Os laboratórios remotos são aqueles que utilizam laboratórios reais através do uso da infra-estrutura de comunicação da Internet. Nesse caso, um aprendiz se conecta a equipamentos de um laboratório real de forma remota através da Internet. Note que esse tipo de laboratório mantém a necessidade da existência de um laboratório real.

Os laboratórios virtuais são aqueles que simulam os experimentos em computadores, sem a necessidade da existência de laboratórios reais, ou seja, equipamentos e outros recursos são totalmente simulados. Há economia de recursos financeiros, além da eliminação total de barreiras físicas e temporais. A questão financeira é apenas um dos pontos que favorecem o desenvolvimento de laboratórios virtuais. Na prática, ferramentas virtuais são de grande interesse para criar um ambiente avançado de experimentação e ensino com baixo investimento financeiro. Outra característica importante dos laboratórios virtuais é permitir que um número maior de aprendizes executem experimentos simultaneamente, ao contrário dos laboratórios físicos que normalmente comportam a execução de um experimento por vez (VALERA et al., 2005). Laboratórios virtuais possibilitam aprendizes executarem

experimentos a qualquer hora e em qualquer lugar, além de permitir a revisão das propriedades de cada instrumento, e do experimento executado (BREAKEY et al., 2008).

A Tabela 1 contém um comparativo entre as vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de laboratórios citados nessa seção.

Tipo de Laboratório	Vantagens	Desvantagens
Real	-Utilização de dados reais -Interação com equipamentos reais -Trabalho colaborativo -Interação com um supervisor	-Restrição de tempo e horário -Necessidade de agendamento -Alto custo de investimento -Necessidade de um supervisor para acompanhar o experimento
Remoto	-Interação com equipamentos reais -Utilização de dados reais -Custo médio de investimento	-Somente “presença virtual” no laboratório -Restrição de tempo e horário
Virtual	-Bom para praticar conceitos -Sem restrição de tempo e horário -Baixo custo de investimento	-Falta de interação com outros estudantes -Nenhuma interação com equipamentos reais

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens entre os diferentes tipos de laboratório. Dados extraídos e adaptados de (NEDIC; MACHOTKA; NAFALSKI, 2003).

Além dos pontos descritos na Tabela 1, é interessante destacar outras características. Por exemplo, experimentos reais que utilizam equipamentos ou soluções nocivas aos seres humanos, tais como soluções ácidas, podem ser primeiramente executados pelos aprendizes em um laboratório virtual, diminuindo então os riscos da execução. Após um treinamento do aprendiz através do laboratório virtual, o experimento real poderá ser executado com menores riscos. Outra grande vantagem dos laboratórios virtuais é a possibilidade de acelerar o processo dos experimentos. Por exemplo, aguardar uma decantação em um experimento real pode levar horas, enquanto que em um laboratório virtual este processo pode ser acelerado, salvo e recuperado. Os laboratórios virtuais podem ser uma excelente ferramenta didática para o aprendiz, no sentido de ajudá-lo a familiarizar-se com os controles e operações dos instrumentos de um laboratório real (BREAKEY et al., 2008).

Estudos indicam que em muitas instituições de ensino brasileiras (principalmente escolas públicas e do ensino médio), as aulas laboratoriais são comprometidas, ou simplesmente não são dadas pela ausência de equipamentos necessários para a montagem do experimento pressuposto (SIEVERS; GERMANO; ALMEIDA, 2008). Tendo em vista que o governo brasileiro prevê informatizar 100% das escolas públicas até o fim de 2010 (CAMARGO, 2008), há então um ambiente favorável para que laboratórios virtuais possam ser úteis, principalmente pelos baixos custos gerados e pela flexibilidade em seu acesso. Na próxima seção são apresentados alguns laboratórios virtuais pesquisados.

2.1.2 Laboratórios virtuais identificados na literatura

Em geral, laboratórios virtuais têm o objetivo de prover um ambiente capaz de simular experimentos com baixo investimento financeiro. No entanto, entre os laboratórios virtuais identificados na literatura, é possível encontrar diferenças entre suas funcionalidades e objetivos, os quais têm influência direta na satisfação dos aprendizes e no alcance dos objetivos dos experimentos (STEIN; WANSTREET, 2003). Estas diferenças podem afetar diretamente a qualidade do processo de aprendizagem, sendo este o foco analisado nos trabalhos citados nesta seção.

Na literatura é possível encontrar laboratórios virtuais que exploram interfaces ricas, na tentativa de simular aos aprendizes a sensação de estarem manuseando remotamente equipamentos reais. Os trabalhos de (DOBRZANSKI; HONYSZ, 2007) e (GRANADO et al., 2007) são exemplos destes laboratórios, os quais permitem que aprendizes interajam diretamente com um número finito de experimentos. Note que nestes trabalhos não é possível criar novas experimentações, ou ainda delinear um roteiro para os experimentos pré-existentes. Outro trabalho similar é (BREAKEY et al., 2008), onde é utilizado o software SBLi (<http://www.sblinteractive.org>) para criar cenários personalizados de laboratório. Alguns experimentos são providos neste laboratório virtual, os quais exigem o cumprimento de um fluxo lógico de execução pré-estipulado no desenvolvimento do ambiente. Apesar de este laboratório exigir aos aprendizes o cumprimento de um protocolo, não é permitido a um projetista delinear novos experimentos e seus respectivos protocolos, isto é, apenas pode ser executado um número finito de experimentos disponibilizados pelo laboratório. Estas características impossibilitam que experimentos sejam criados conforme as necessidades de um projetista, e conseqüentemente não permitem explorar conceitos específicos.

Outro laboratório pesquisado é o VLAM-G (Grid-based Virtual Laboratory Amsterdam) (BELLOUM et al., 2003), que possui como característica prover um ambiente onde o aprendiz deve primeiramente configurar os parâmetros dos recursos do laboratório e então apenas aguardar a execução do experimento. Nesta abordagem, o aprendiz não interage com o experimento, sendo que sua única interação é antes de sua execução e após para a coleta dos resultados. Este laboratório é voltado para realização de processamentos complexos em Grids. Tais processamentos seguem um roteiro padrão previamente definido em um fluxo de trabalho (*workflow*). Cada etapa do *workflow* utiliza ferramentas já existentes na literatura. Note então que a ferramenta VLAM-G é um ambiente formado pela união de várias ferramentas existentes a fim de prover ao aprendiz um ambiente capaz de realizar

processamentos complexos em *Grid*. Mesmo sendo capaz de processar grande volume de dados, esse trabalho é limitado em relação à interação com o aprendiz, sendo este participativo apenas no momento da configuração do experimento, subentendendo uma diminuição do volume de aprendizagem e da sedimentação do conhecimento.

Outro sistema que utiliza *Grid* para realizar processamento é o VMSLab-G (GERVASI et al., 2004), porém uma importante diferença em relação ao laboratório citado anteriormente é que ele permite a interatividade com o aprendiz durante toda a experimentação. Este requisito não é fundamental quando há a intenção de utilizar laboratórios virtuais em demonstrações, no entanto é essencial quando é utilizado para fins de aprendizagem. Seguindo as mesmas características, o sistema VILAB (Virtual electronic laboratory for applied computer science) (LUTTICKE; GNORLICH; HELBIG, 2002) é outro exemplo de laboratório onde o aprendiz pode interagir a todo o momento com o experimento. O que o diferencia do VMSLab-G é uma funcionalidade que permite ao aprendiz consultar um tutorial sobre o experimento executado, caso haja alguma dúvida. Essa característica é de imenso valor para auxiliar o aprendiz em um momento de dúvida, porém neste trabalho não existe nenhum mecanismo que traga a informação relevante à dúvida do aprendiz, isto é, não há garantia de que o tutorial sugerido pelo sistema solucionará sua dúvida.

O foco de alguns laboratórios virtuais é exclusivamente para fins de aprendizagem. Um exemplo é o sistema UVL (Universal virtual laboratory) (DUARTE et al., 2008), um ambiente que é formado pela união de outras ferramentas disponíveis na literatura, com o propósito de permitir que estudantes pratiquem através da internet conceitos de eletrônica e engenharia elétrica. Neste laboratório os aprendizes interagem com os equipamentos a todo o momento, o que é muito importante para sedimentar o conhecimento, no entanto não há um protocolo a ser seguido, isto é, cada aprendiz que possui acesso ao laboratório pode criar o circuito que desejar. É interessante ressaltar que neste sistema existe um recurso que permite que experimentos sejam executados por meio de comandos de voz, sendo então possível a execução de experimentos por deficientes físicos. Isso aumenta a abrangência do laboratório, no entanto, uma abordagem sem protocolos a serem seguidos dificultam a implantação de metodologias de ensino e a avaliação dos experimentos realizada por seus projetistas.

Já o VLab Ontology (Virtual Laboratory Ontology) (BLAZQUEZ et al., 2008) provê um ambiente de aprendizado à distância com o propósito de disponibilizar recursos e materiais didáticos. Fornece um ambiente contendo materiais didáticos (livros, apostilas, etc., em arquivos nos formatos TXT, PDF, DOC e URLs) e algumas ferramentas (Wiki, Fóruns,

FAQs, manuais, etc.) que são disponibilizadas para os aprendizes realizarem seus estudos. Este ambiente é criado dinamicamente por um professor por meio de um assistente (*wizard*), onde é solicitada a configuração de algumas variáveis:

- Assunto a ser estudado;
- Quais ferramentas desejadas no ambiente (Wiki, fóruns, etc.);
- Se há intenção de disponibilizar *links* para laboratórios virtuais (quando existentes para o assunto selecionado);
- Que tipo de materiais deseja disponibilizar (Manuais, apostilas, vídeos-aula, etc.);

Com base nestas variáveis, o VLab Ontology realiza inferências sobre ontologias e cria um ambiente em um sistema de administração de aprendizado (LMS) conhecido como Moodle (MOODLE), com manuais, apostilas, vídeos-aula, etc., a fim de que este ambiente permita uma combinação dos melhores recursos e materiais didáticos disponíveis no sistema para a específica necessidade do professor. Neste trabalho o uso de ontologias permite que recursos acessíveis ao professor sejam explorados de maneira eficiente, porém não é permitida a realização de experimentações, pois é provido um ambiente para ensino a distância (EAD) focado em disponibilizar materiais e ferramentas didáticas associadas da melhor maneira possível.

Entre os trabalhos citados é visível a ausência de algumas funcionalidades importantes, como por exemplo:

- Permitir a criação de um experimento conforme as necessidades de um projetista;
- Exigir que aprendizes executem experimentos com base no cumprimento de um protocolo;
- Permitir a aprendizes executarem experimentos que sigam protocolos similares ao proposto, mesmo que tais protocolos não tenham sido previstos pelo projetista, mas que obtenham um mesmo resultado;
- Representar semanticamente os aparatos e processos que compõem o experimento;
- Representar formalmente os protocolos dos experimentos, de forma a possibilitar e facilitar suas avaliações;
- Permitir a avaliação do experimento executado;
- Recomendar aparatos no momento de criação de experimentos;

- Persistir os dados da execução dos experimentos para que em trabalhos futuros sejam utilizados como uma base de conhecimento que permita auxiliar novas avaliações;

Na Tabela 2 é possível visualizar e comparar essas e outras funcionalidades comuns entre esses trabalhos. Estão destacadas as funcionalidades consideradas relevantes para o processo WOntoVLab e que não são plenamente suportadas nos trabalhos citados.

Características	Trabalhos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Acessível a deficientes físicos	X							
Permite mais de um acesso simultâneo	X	X	X	X	X	X	X	X
Ambiente composto pela união de outras ferramentas já existentes					X	X		
Utiliza processamento em Grid						X	X	
Permite interação do aprendiz na execução do experimento	X	X	X	X	X		X	
Provê um ambiente colaborativo								
Possui protocolo a ser seguido				Estático				
Permite ao projetista criar um experimento conforme desejado								
Realiza descoberta de conhecimento								
Realiza recomendações/correções				Parcial	Parcial			
Permite executar protocolos alternativos								
Utiliza Workflow						X		
Voltado para aprendizado à distância (EAD)	X	X	X	X	X		X	X
Provê um ambiente onde o aprendiz executa o que quer (sem protocolos) e o sistema retorna um resultado sobre esta ação	X	X	X		X	X	X	
O aprendiz configura o experimento e o laboratório faz o restante do trabalho (Mínima interação)						X		

Tabela 2 – Características comuns entre laboratórios virtuais

Trabalhos analisados na Tabela 2:

1. An intelligent universal virtual laboratory (DUARTE et al., 2008).
2. A web-based virtual laboratory for teaching automatic control (GRANADO et al., 2007).
3. Materials science virtual laboratory as an example of the computer aid in materials engineering (DOBRZANSKI; HONYSZ, 2007).
4. The Use of Scenario-Based-Learning Interactive Software to Create Custom Virtual Laboratory Scenarios for Teaching Genetics (BREAKEY et al., 2008).

5. VILAB - A virtual electronic laboratory for applied computer science (LUTTICKE; GNORLICH; HELBIG, 2002).
6. VLAM-G - a grid-based virtual laboratory (BELLOUM et al., 2003).
7. VMSLab-G - a virtual laboratory prototype for molecular science on the Grid (GERVASI et al., 2004).
8. VLab Ontology - Virtual Laboratory Ontology (BLAZQUEZ et al., 2008).

Os dados da Tabela 2 mostram que, de forma geral, os laboratórios virtuais encontrados na literatura possuem o objetivo de prover um ambiente de experimentação que transponha barreiras temporais e financeiras. Mas, a forma como eles são desenvolvidos é importante para que diferentes objetivos sejam alcançados. Note que eles não são capazes de avaliar se um passo realizado pelo aprendiz está correto. Além disso, não são capazes de permitir que experimentos possuam protocolos alternativos, isto é, validar a execução de um passo não previsto, mas que obtenha um mesmo resultado. Também não são capazes de recomendar aparatos similares aos selecionados pelo projetista, e não representam semanticamente os processos e aparatos envolvidos nos experimentos.

Com base nas características citadas foi possível identificar e enumerar alguns desafios encontrados no desenvolvimento de laboratórios virtuais, conforme descrito na Listagem 2.

1. Permitir que experimentos sejam criados conforme as necessidades dos projetistas
2. Possibilitar a criação de protocolos (roteiro)
3. Realizar recomendações (representação semântica dos aparatos)
4. Explorar a criatividade dos usuários, permitindo a execução de passos não previstos no protocolo (protocolos alternativos)
5. Avaliar o desempenho dos usuários

Listagem 2 - Desafios para serem superados no desenvolvimento de laboratórios virtuais.

A superação dos desafios citados é importante para criar um ambiente de experimentação flexível, que explore a criatividade do aprendiz e que se aproxime das experiências encontradas em um laboratório real.

2.1.3 Considerações Finais

Na seção 2.1 são descritos conceitos sobre laboratórios virtuais, a fim de facilitar o entendimento deste trabalho. Também são identificadas e destacadas algumas

deficiências dos laboratórios virtuais disponíveis na literatura, que podem ser superadas por laboratórios virtuais que tenham sido definidos em conformidade plena do que prega o processo WOntoVLab. Entre os laboratórios virtuais citados, nenhum permite a criação de experimentos flexíveis, isto é, projetistas não têm a liberdade de criar novos experimentos de acordo com o protocolo que desejam, produzindo muitas vezes experiências laboratoriais inadequadas ao conteúdo abordado. Também não são permitidas as recomendações de aparatos nem mesmo a representação semântica dos protocolos que compõem os experimentos. O processo WOntoVLab, descrito no capítulo 3, provê uma maneira de realizar autoria de laboratórios virtuais que suprem os requisitos destacados nesta seção.

2.2 TECNOLOGIA DE REPRESENTAÇÃO DE WORKFLOW (XPDL)

Nesta seção são apresentadas as características da linguagem XPDL (WORKFLOW MANAGEMENT COALITION, **XPDL - XML Process Definition Language**), utilizada neste trabalho para representar formalmente os protocolos de autoria e execução dos experimentos. Esta linguagem é amplamente utilizada, devido ao fato de ser uma recomendação oficial da WfMC (WORKFLOW MANAGEMENT COALITION) para representação de processos que compõem *workflows*. Também são descritos nesta seção alguns padrões de workflow existentes, sendo o padrão *seqüência* utilizado no desenvolvimento do protótipo deste trabalho, conforme descrito na seção 4.2. Também são citados e detalhados alguns trabalhos pesquisados na literatura que utilizam *workflows* para representar protocolos.

2.2.1 Definição e caracterização

Compreende-se pelo termo *workflow* um fluxo de trabalho composto por uma seqüência de tarefas interconectadas. O produto da execução de uma tarefa representada em um *workflow* torna-se a entrada da tarefa subsequente. Isto permite a organização e automação de tarefas que seguem uma seqüência lógica de execução. Uma das linguagens mais utilizadas para representar *workflows* é a linguagem XPDL.

XPDL (*XML Process Description Language*) é uma linguagem padronizada pela WfMC (*Workflow Management Coalition*) que possui como propósito permitir a modelagem e representação de processos que compõem *workflows*. O fato destes processos serem representados através do formato XML permite que eles sejam facilmente serializados e transmitidos por diferentes sistemas através da internet. Este fato permite também que

diferentes sistemas de representação de *workflows* modelem seus processos de maneira universalmente inteligível. A seguir é exibida a estrutura básica que deve ser seguida ao representar um processo utilizando XPDL:

```

1  <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2  <xpdl:Package xmlns:xpdl="http://www.wfmc.org/2002/XPDL1.0"
   xmlns="http://www.wfmc.org/2002/XPDL1.0"
   xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" Id="id"
   Name="name"
   xsi:schemaLocation="http://www.wfmc.org/2002/XPDL1.0
   http://wfmc.org/standards/docs/TC-1025_schema_10_xpdl.xsd">
3
4    <xpdl:PackageHeader>
5      <xpdl:XPDLVersion>1.0</xpdl:XPDLVersion>
6    </xpdl:PackageHeader>
7
8    <xpdl:WorkflowProcesses>
9      <xpdl:WorkflowProcess Id="wfp_id" Name="wfp_name">
10
11        <xpdl:Activities>
12          <xpdl:Activity Id="Id">
13            ...
14          </xpdl:Activity>
15        </xpdl:Activities>
16
17        <xpdl:Transitions>
18          <xpdl:Transition From="id" Id="trId" To="id"/>
19          ...
20        </xpdl:Transitions>
21
22      </xpdl:WorkflowProcess>
23    </xpdl:WorkflowProcesses>
24
25 </xpdl:Package>

```

Listagem 3 - Estrutura básica de um documento XPDL

A Listagem 3 corresponde a uma estrutura básica para representação de um processo utilizando-se XPDL, sendo que há dezenas de outras funcionalidades não representadas. Isto se deve ao fato de que o conteúdo representado na Listagem 3 é suficiente para compreender o funcionamento do processo WOntoVLab. Maiores informações e detalhes sobre a linguagem XPDL podem ser encontrados em (WORKFLOW MANAGEMENT COALITION, **XPDL - XML Process Definition Language**).

Na linha 9 da Listagem 3 é descrito um nome e identificação para o processo que se deseja representar. Entre as linhas 11 e 15 são descritos todos os passos que compõem

o processo desejado, sendo cada um representado através da *tag* <xpdl:Activity>. As transições que permitem ordenar os passos do processo estão representadas entre as linhas 17 e 20, através das *tags* <xpdl:Transition>. Com isso são geradas transições entre os passos representados pelas *tags* <xpdl:Activity>, permitindo então criar um fluxo de execução para o processo.

O processo de modelagem de *workflows* envolve um detalhado levantamento de requisitos. Além disso, é necessário dominar os padrões de *workflows* conhecidos para poder modelar corretamente um processo em XPDL. Neste sentido, na próxima seção são introduzidos alguns dos padrões de controle de fluxo de *workflows*.

2.2.2 Padrões de workflow

Workflows permitem a criação de fluxos de trabalho para os mais diversos domínios. Entretanto, mesmo em domínios diferentes, é possível verificar a recorrência de problemas específicos em seu processo de modelagem. Com base nesses problemas, foram definidos padrões adequados para cada situação. Entre os padrões conhecidos, a seguir são descritos os padrões básicos para controle de fluxo de *workflows*, segundo a definição de (VAN DER AALST et al., 2003):

- Padrão *Sequence* (Seqüência)

Descrição: Uma tarefa em um processo é executada apenas depois da total execução da tarefa que a precede. Na Figura 2 é ilustrado este padrão utilizando-se redes de Petri.

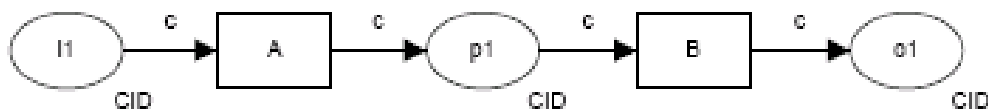


Figura 2 - Representação do padrão *Sequence* – Figura extraída de <http://www.workflowpatterns.com>

- Padrão *Parallel Split* (Separação em paralelo)

Descrição: Há uma divisão de uma tarefa do processo em duas ou mais tarefas, sendo estas executadas concorrentemente/paralelamente. Estas tarefas podem ou não ser resincronizadas futuramente. Na Figura 3 é ilustrado este padrão.

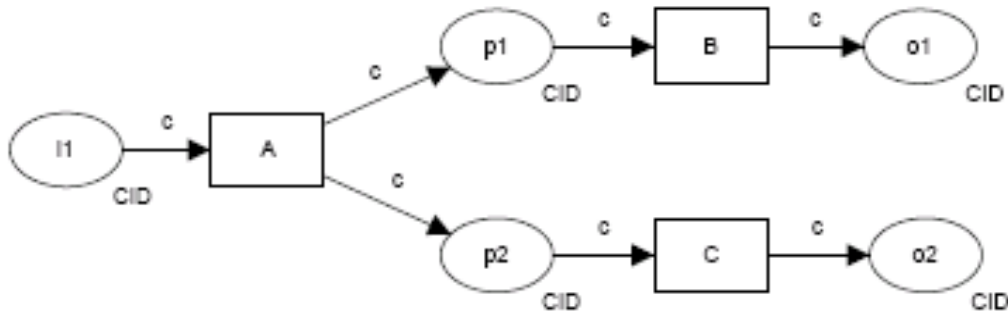


Figura 3 - Representação do padrão *Parallel Split* – Figura extraída de <http://www.workflowpatterns.com>

- Padrão *Synchronization* (Sincronização)

Descrição: Duas ou mais tarefas/processos convergem em uma só tarefa. Esta nova tarefa só é iniciada quando as execuções das tarefas anteriores forem finalizadas. Na Figura 4 é ilustrado este padrão.

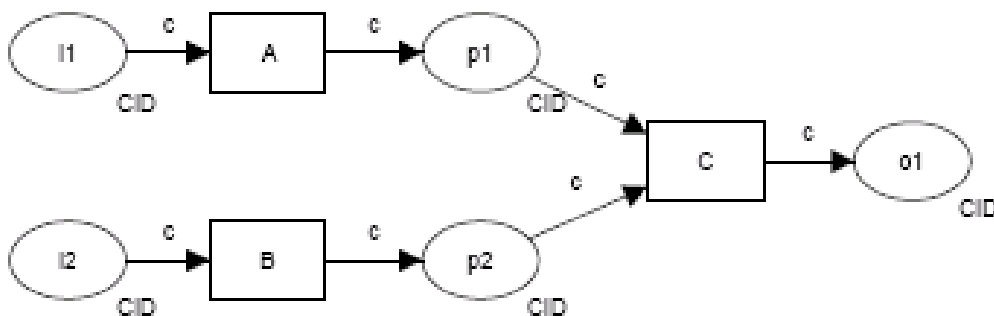


Figura 4 - Representação do padrão *Synchronization* – Figura extraída de <http://www.workflowpatterns.com>

- Padrão *Exclusive choice* (Escolha exclusiva)

Descrição: Consiste na divisão de uma tarefa em duas ou mais, similar ao padrão *parallel split*, no entanto, baseados nos resultados das tarefas, a *thread* de controle de fluxo é passada apenas para um dos fluxos subsequentes, permitindo em tempo de execução a seleção de qual caminho deve ser seguido. Na Figura 5 é ilustrado este padrão.

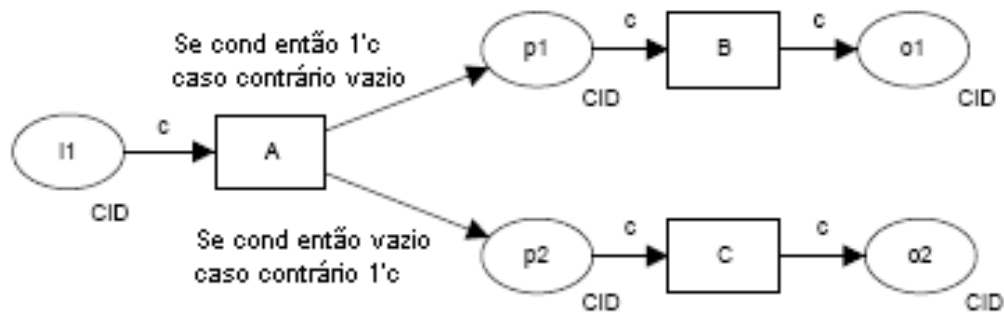


Figura 5 - Representação do padrão *Exclusive choice* – Figura extraída e adaptada de <http://www.workflowpatterns.com>

- Padrão *Simple Merge* (Fusão simples)

Descrição: Similarmente ao padrão *Synchronization*, o *simple merge* consiste na convergência de duas ou mais tarefas em uma única, no entanto não há nenhum tipo de sincronização destas tarefas. Na Figura 6 é ilustrado este padrão.

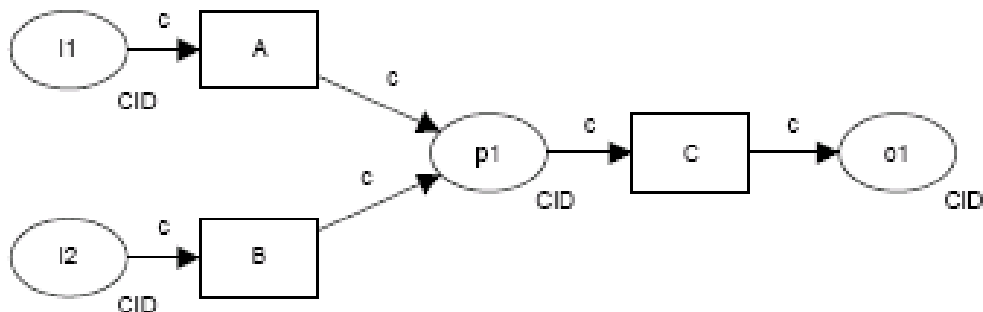


Figura 6 - Representação do padrão *Simple merge* – Figura extraída de <http://www.workflowpatterns.com>

Os padrões citados permitem solucionar problemas comuns encontrados na modelagem de *workflows*. Como já comentado, existem dezenas de outros padrões detectados, no entanto, os padrões aqui descritos são suficientes para compreensão do estudo de caso descrito na seção 5 e do processo WOntoVLab. Maiores informações sobre padrões de *workflow* podem ser encontradas em (VAN DER AALST et al., 2003).

É possível verificar uma expansão no uso das tecnologias de *workflow*, originárias da área de negócios, sendo utilizadas frequentemente em diversos outros segmentos (ARAUJO; EDELWEISS, 2005). Neste sentido, na próxima seção são

introduzidos alguns trabalhos que utilizam tecnologia de representação de *workflows* para modelar protocolos.

2.2.3 Trabalhos que utilizam *workflow* para representar protocolos

Tecnologias para representação de *workflows* permitem modelar protocolos que seguem um fluxo lógico de execução. Neste sentido, alguns trabalhos encontrados na literatura utilizam *workflows* a fim de modelar protocolos com propósito de alcançar diversos objetivos. A seguir são descritos alguns desses trabalhos que enfocam domínios voltados para aprendizagem.

Em (PONGPECH; SADIQ; ORLOWSKA, 2008) são enfocados os problemas que podem existir na criação de ambientes de aprendizado eletrônico (*e-learning*). Também é realizada uma análise dos requisitos necessários para se modelar estes ambientes, sendo destacada a reincidência de classes de dependências no processo de modelagem. Para transpor as dificuldades encontradas na modelagem desses ambientes, é definido o uso de *workflows*. Por meio de seu uso, são delineados protocolos utilizados para auxiliar a criação de ambientes de *e-learning* que transponha os problemas detectados. Note que neste trabalho não são criados protocolos para delinear experimentos, e sim protocolos para auxiliar a autoria de ambientes de *e-learning*.

Em (CESARINI; MONGA; TEDESCO, 2004) também é focado o domínio de educação, sendo destacada a necessidade de se disponibilizar materiais didáticos para alunos em períodos corretos, isto é, um aluno deve primeiramente ter acesso ao conteúdo básico de uma disciplina para somente depois ter acesso ao conteúdo avançado. Baseados nesta e outras necessidades, os autores propõem um ambiente para aprendizado eletrônico onde um professor pode escolher quais materiais didáticos deseja disponibilizar aos seus alunos, além de qual ordem de acesso deve ser seguida. Neste trabalho o uso de *workflows* permite definir a ordem na qual são disponibilizados aos alunos os materiais didáticos.

Outro trabalho que utiliza *workflows* para modelar protocolos é (ARAÚJO; EDELWEISS, 2005). Nele é destacado e enfatizado um processo de modelagem de *workflows* utilizado para amparar a autoria de cursos de educação à distância com suporte à cooperação. Note que o foco deste trabalho é definir uma metodologia para modelar os *workflows*, sendo este definido pelos autores como tecnologia adequada para definir o protocolo que ampara o processo de criação de cursos de educação à distância.

2.2.4 Considerações Finais

Na seção 2.2 foi introduzida a definição e caracterização de *workflows*. Em seguida foi destacada a reincidência de alguns problemas em sua modelagem, o que permitiu a criação de padrões capazes de transpor esses problemas. Esses padrões foram descritos neste trabalho, pois seu conhecimento é necessário para permitir a modelagem de *workflows*. Na seção 2.2.3 foram descritos brevemente apenas alguns dos trabalhos encontrados na literatura que utilizam *workflows* para definir protocolos. Com base nestes trabalhos é possível verificar que, independentemente de domínio, *workflows* vêm sendo utilizados como solução para as mais diversas situações onde há a necessidade de delinear roteiros baseados em uma ordem de execução.

2.3 ONTOLOGIAS

A utilização de ontologias é aspecto fundamental no processo WOntoVLab. Logo, nesta seção é introduzida a definição de ontologia, seus objetivos, importância, os tipos de ontologias existentes, e linguagens para representar ontologias. Ao final da seção, são feitas algumas considerações sobre a utilização de ontologias e são citadas suas contribuições neste trabalho.

2.3.1 Definição e caracterização

Ontologia era um termo utilizado no passado apenas na área filosófica, porém, vem ganhando expressiva importância em inteligência artificial, lingüística computacional, e teoria de banco de dados (GUARINO, 1998). O termo ontologia tem sido adotado pela comunidade da inteligência artificial para referir-se a uma lista de conceitos e termos que podem ser usados para descrever uma área de conhecimento ou construir uma representação dela (SWARTOUT, 1999). Para a comunidade de ciência da computação não há um consenso para a definição de ontologia, no entanto, entre as definições mais utilizadas, há:

“Uma ontologia é uma especificação formal e explícita de uma conceitualização compartilhada” (GRUBER, 1993).

Baseado em (USCHOLD; GRUNINGER, 2004), cada termo desta definição pode ser detalhado da seguinte forma:

- **Conceitualização:** modelo abstrato de como as pessoas pensam sobre as coisas (normalmente restrito a uma área em particular);
- **Especificação explícita:** conceitos e relacionamentos do modelo abstrato são dados atribuídos explicitamente por nomes e definições. O nome é um termo e a definição é uma especificação do significado do conceito ou relação;
- **Formal:** significa que a especificação do significado é feita em uma linguagem onde as propriedades formais são bem entendidas, removendo assim, a ambigüidade que prevalece em linguagens naturais e em outras notações informais;
- **Compartilhada:** significa que a proposta principal de uma ontologia é ser utilizada e reutilizada por meio de diferentes aplicações e comunidades.

Uma ontologia define um conjunto de primitivas representacionais que visam modelar um domínio de conhecimento. Essas primitivas são tipicamente classes (ou conceitos), atributos (ou propriedades), axiomas, relacionamentos (ou relações entre os membros das classes) e instâncias. As definições das primitivas incluem informação sobre seus significados e restrições em sua aplicação lógica (GRUBER, 2009). Segundo (USCHOLD; GRUNINGER, 2004) é possível definir os componentes de uma ontologia da seguinte forma:

- *Classes ou conceitos:* representam entidades que fazem parte de um domínio, tipicamente organizados em uma taxonomia de classes e subclasses;
- *Propriedades ou slots:* Descrevem as propriedades da classe. Tais propriedades podem ser atributos ou relacionamentos;
- *Restrições ou facets:* são condições impostas para as classes e propriedades. Por exemplo: permitir que uma propriedade receba apenas dados do tipo booleano.
- *Axiomas:* são restrições sobre conceitos e propriedades, cujo principal propósito é expressar significado de forma que máquinas sejam capazes de interpretá-lo por meio de mecanismos de raciocínio automático.
- *Instâncias:* representam o conjunto de indivíduos ou objetos do mundo real que estão de acordo com a conceitualização modelada pela ontologia.

2.3.2 Representação de ontologias

Ao contrário das representações que utilizam linguagem natural, ontologias devem ser representadas por linguagens que não permitam ocorrer ambigüidades e que sejam capazes de capturar conceitualizações. Entre as linguagens existentes para a representação de ontologias, a seguir é detalhada a *Web Ontology Language* (OWL) que, por ser uma recomendação oficial do *World Wide Web Consortium* (W3C), é a mais difundida e utilizada para a criação de ontologias na web semântica (BERNERS-LEE; HENDLER; LASSILA, 2001).

```

1 <owl:Class rdf:ID="Equipamento" />
2
3 <owl:Class rdf:ID="Centrifuga">
4 <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Equipamento" />
5 </owl:Class>
6
7 <owl:Class rdf:ID="Estufa">
8 <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Equipamento" />
9 </owl:Class>
10
11 <owl:Class rdf:ID="Agitador">
12 <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Equipamento" />
13 </owl:Class>

```

Listagem 4 - Trecho de uma ontologia representada em OWL.

Na Listagem 4 é exibido um trecho de código escrito na linguagem OWL onde é representada a classe “Equipamento” e suas três subclasses: “Centrifuga”, “Estufa” e “Agitador”. A OWL pode ser classificada em três sub-linguagens, cada uma diferindo entre si pela capacidade de expressividade e complexidade. Baseado em (SMITH; WELTY; MCGUINNESS, 2004), a seguir é descrita de forma sucinta suas classificações:

- *OWL Lite*: provê suporte principalmente uma classificação hierárquica com restrições simples. Apenas cardinalidades com valores 0 ou 1 são permitidas;
- *OWL DL (Description Logic)*: suporta máxima expressividade sem a perda de integridade computacional e decidibilidade das máquinas de inferência;
- *OWL Full*: é direcionada para quem deseja alcançar uma máxima expressividade e liberdade sintática sem nenhuma garantia computacional.

Por este motivo, não existem máquinas de inferência capazes de reconhecer todas as construções possíveis para esta sub-linguagem OWL.

2.3.3 Importância das Ontologias

Tecnologias baseadas em semântica estão sendo utilizadas para solucionar vários problemas de integração semântica que existem devido à tradução de termos e ao uso de mapeamentos diferentes. Traduções são realizadas por diferentes comunidades e nesse processo a perda de semântica pode ocorrer (USCHOLD; GRUNINGER, 2004), como por exemplo, a tradução da palavra inglesa “*Bread*” para o português. Na língua portuguesa a tradução desta palavra pode variar, dependendo da cultura regional de quem realiza a tradução. Há então, por exemplo, a tradução de “*Bread*” para “média”, “filão” ou “pão”. Se adotada a tradução “média”, um dos possíveis entendimentos para seu significado é “média aritmética”, convergindo assim para uma conceitualização totalmente diferente da original. O problema de má interpretação de uma palavra pode ocorrer também com palavras homônimas, isto é, quando uma palavra possui mais de um sentido. Por exemplo, a palavra “laranja” pode ser interpretada como “cor laranja” ou “fruta laranja”, dependendo do contexto. No intuito de solucionar estes problemas, muitos grupos como governo e indústrias têm compartilhado esses modelos reutilizáveis, as ontologias (USCHOLD; GRUNINGER, 2004).

Um dos objetivos da ontologia é permitir um entendimento compartilhado de um domínio que pode ser comunicado entre pessoas e sistemas de aplicação (FENSEL et al., 2001). Compartilhar ontologias permite construir bases de conhecimentos que descrevem situações específicas. Esse compartilhamento aumenta o potencial para reuso do conhecimento inclusive entre diferentes comunidades sem a perda de semântica (CHANDRASEKARAN; JOSEPHSON, 1999). Uma ontologia define um vocabulário comum para pesquisadores que necessitam compartilhar informações em um domínio. Isto inclui a definição de conceitos básicos interpretáveis por máquinas e a relação entre eles.

Para um determinado domínio, sua ontologia forma a base de qualquer representação de conhecimento. Para a criação de um sistema de representação de conhecimento é necessário realizar uma análise ontológica cuidadosa do domínio, caso contrário, bases de conhecimento incoerentes são criadas. É possível também utilizar máquinas de inferência para raciocinar sobre ontologias e realizar descoberta de conhecimento não explícito (USCHOLD; GRUNINGER, 2004).

2.3.4 Tipos de ontologias

Assim como na definição de ontologias, não existe um consenso para sua classificação; porém, é encontrada na literatura uma maior utilização da classificação proposta por (GUARINO, 1997, 1998). Para realizar tal classificação, o autor se baseia no conteúdo da conceitualização, dividindo então, as ontologias em cinco categorias:

- *Ontologias genéricas ou de nível superior*: descrevem conceitos gerais, independente de um problema particular ou domínio. São exemplos destes conceitos: tempo, espaço, matéria, etc.;
- *Ontologias de domínio*: são ontologias que expressam conceitualizações de domínios particulares, descrevendo o vocabulário relacionado a um domínio genérico. Por exemplo, uma ontologia do domínio de biologia molecular descreve elementos utilizados em todo o domínio de biologia molecular, e as relações entre eles;
- *Ontologias de tarefas*: descrevem um vocabulário relacionado a uma atividade ou tarefa genérica que expressam conceitualizações sobre a resolução de problemas, independentemente do domínio em que ocorram. Por exemplo, diagnóstico ou vendas;
- *Ontologias de aplicação*: diferentemente das ontologias de tarefas, as ontologias de aplicação descrevem conceitos dependentes do domínio e da tarefa em particular. Estes conceitos normalmente correspondem a papéis desempenhados por entidades do domínio quando da realização de determinada tarefa;
- *Ontologias de representação*: elas explicam as conceitualizações que são base dos formalismos de representação de conhecimento. Pode-se dizer que ontologia de representação é uma meta-ontologia.

Em (GUARINO, 1998), é proposta a criação de ontologias segundo seu nível de generalidade. Dada uma ontologia de nível superior, os conceitos de uma ontologia de domínio ou tarefa devem ser especializações dos termos desta ontologia. Já as ontologias de aplicação devem ser especializações dos termos das ontologias de domínio e tarefa. Esta hierarquia pode ser melhor entendida analisando a Figura 7.

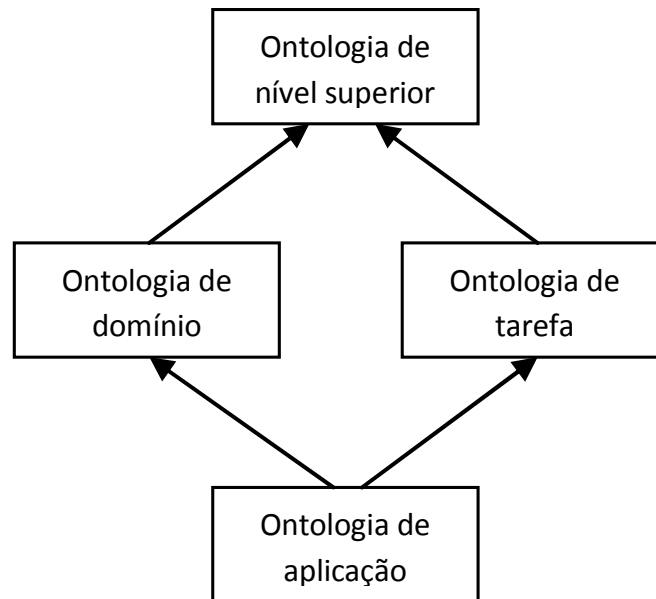


Figura 7 - Tipos de ontologias, de acordo com sua dependência em relação a uma tarefa ou ponto de vista particular.
 Figura extraída de (GUARINO, 1998)

2.3.5 Aplicação de ontologias

No domínio da ciência da computação, ontologias podem ser empregadas por agentes, aplicações, ou outro recurso de informação para declarar quais termos devem ser usados e o que os eles significam. São comumente utilizadas em contextos de compartilhamento, reuso e organização de informação semântica, o que facilita a compreensão e comunicação do conhecimento de domínio entre sistemas computacionais e humanos. Vem sendo utilizadas para transpor um dos desafios enfrentados em T.I.: “A correta informação para a pessoa correta, na hora correta”. Ontologias auxiliam na interoperabilidade entre sistemas, sendo utilizadas para representar o vocabulário compartilhado por diversos sistemas (USCHOLD; GRUNINGER, 2004).

Uma aplicação real onde ontologias podem ser empregadas é na integração de diferentes sistemas computacionais, por exemplo, sistemas de companhias aéreas. Imagine uma aliança realizada entre diferentes companhias aéreas, onde um bilhete adquirido em uma companhia aérea pode ser utilizado em um voo de outra companhia também pertencente à aliança. Neste caso, para que possa haver uma interoperabilidade entre diferentes sistemas, é necessário que haja um consenso na definição de termos utilizados neste domínio. Por exemplo, diferentes companhias podem empregar o uso dos termos “ticket” e “bilhete” para se referir à passagem aérea. Neste contexto, uma ontologia pode ser utilizada para integrar diferentes vocabulários, permitindo então a interoperabilidade entre diferentes sistemas.

2.3.6 Considerações finais

Na seção 2.3 é introduzida a definição de ontologia, suas características, e os tipos de ontologias existentes. É verificado que um dos principais propósitos de uma ontologia é o reuso e o compartilhamento do vocabulário consolidado na maioria das vezes por especialistas, evitando assim a criação de bases heterogêneas e possibilitando o reaproveitamento da informação semântica, sendo estes uns dos motivos pelos quais ontologias são empregadas neste trabalho. No processo WOntoVLab, ontologias de domínio e aplicação auxiliam na representação semântica de aparatos e processos utilizados nos experimentos. Por meio de inferências, permitem também a recomendação de aparatos além de avaliação e validação de protocolos alternativos de execução.

3 PROCESSO WOntoVLab

Neste capítulo é introduzido e detalhado o processo WOntoVLab. Na seção 3.1 são introduzidas as considerações iniciais. Na seção 3.2 é detalhado o processo WOntoVLab. Por fim, na seção 3.3 são relatadas as considerações finais.

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Laboratórios virtuais permitem a simulação de experimentos em computadores, com o objetivo de prover um ambiente que contenha os aparatos necessários para a realização de práticas laboratoriais, sem a necessidade da existência de um laboratório físico tradicional. Recorde que os termos “aparato” e “protocolo” são termos utilizados neste trabalho respectivamente para referenciar tudo o que é disponibilizado pelo laboratório virtual (por exemplo, materiais, soluções, equipamentos, reagentes, etc.) e para definir um conjunto de passos que compõem um experimento (roteiro).

Para que seja possível avaliar o comportamento dos usuários dos laboratórios virtuais, é interessante que experimentos sejam especificados segundo um protocolo. Tais protocolos devem considerar as diversas formas de execução de um mesmo experimento (protocolos alternativos), aproximando-se ao máximo das características de procedimentos realizados em laboratórios tradicionais (com existência física).

Tendo em vista as necessidades citadas e as limitações das abordagens apresentadas na seção 2.1.2, é descrito a seguir o processo WOntoVLab, que oferece suporte a autoria, execução e avaliação de experimentos, de modo que seja possível recomendar aparatos em sua criação e inferir semanticamente protocolos alternativos de execução, por meio do uso de ontologias, seus mecanismos de inferência e tecnologias de representação de *workflows*. Inferências são realizadas para recomendar aparatos similares, seja por meio de relacionamentos explícitos ou por transitividade. Também são utilizadas inferências para recuperar o vocabulário associado aos protocolos alternativos. O termo “recomendar aparato” é empregado para descrever a etapa onde são exibidos aos projetistas aparatos similares aos selecionados, e que por ventura possam ser mais adequados. O termo “similar” é empregado para demonstrar equivalência entre aparatos, tarefas e protocolos.

Desta forma, é possível criar experimentos baseados em protocolos e em informações semânticas, permitindo aos aprendizes explorarem as diversas possibilidades de execução de um mesmo experimento, de modo similar aos procedimentos realizados em laboratórios tradicionais.

3.2 UM PROCESSO PARA AUTORIA DE LABORATÓRIOS VIRTUAIS BASEADO EM WORKFLOWS E ONTOLOGIAS

Na Figura 8 é detalhado o processo WOntoVLab, o qual permite que experimentos sejam projetados independentemente de domínio, desde que sejam informadas ontologias adequadas ao domínio e aplicação desejados. O processo é representado conforme notação SADT (*Structured Analysis and Design Technique*), sendo este composto pelas etapas “Criar Experimento”, “Executar Experimento” e “Avaliar Experimento”, que são detalhadas nas próximas seções.

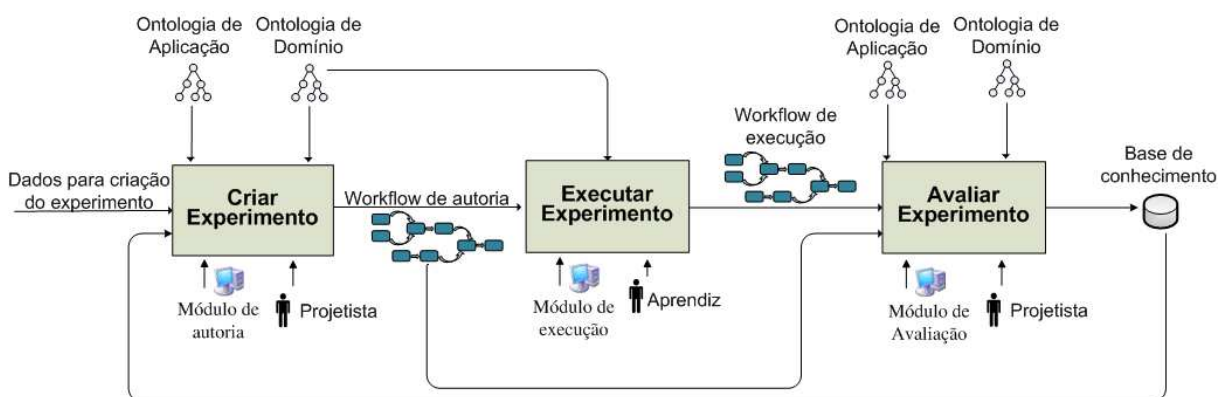


Figura 8 - Processo WOntoVLab

3.2.1 Etapa “Criar Experimento”

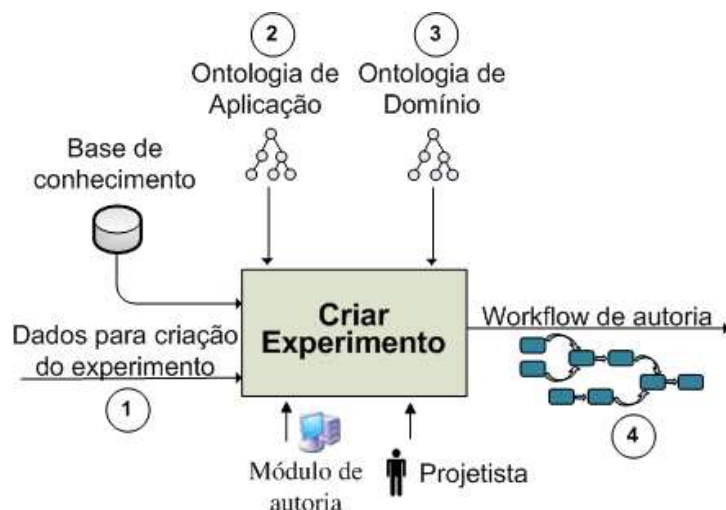


Figura 9 - Etapa "Criar Experimento" do processo WOntoVLab

A primeira etapa do processo WOntoVLab, “Criar Experimento”, destacada na Figura 9, permite ao projetista (por exemplo, um professor) definir um protocolo que deve ser seguido para atingir os objetivos da prática laboratorial que pretende aplicar.

O processo é iniciado com o projetista levantando os requisitos do experimento (Figura 9 - Item 1), etapa primordial para sua criação, pois o projetista deve estar esclarecido sobre objetivos e metas que devem ser atingidas com a prática laboratorial que pretende elaborar e deve também antecipar quais materiais e métodos pretende aplicar. Note que nesta etapa é utilizada uma base de conhecimento, a qual vai disponibilizar ao projetista dados referentes à autoria, execução e avaliação de outros experimentos. Isso vai permitir o reuso de conhecimento consolidado na avaliação de outros experimentos.

Os próximos passos da etapa “Criar Experimento” envolvem o amparo de um *módulo de autoria*, que possua as seguintes funcionalidades mínimas:

- Interação com uma ontologia de domínio que lhe permita recuperar e exibir ao projetista os aparatos - e propriedades inerentes ao mesmo - adequados ao domínio do experimento e que estão representados na ontologia desse domínio;
- Interação com uma ontologia de domínio que lhe permita realizar inferências na ontologia e recomendar ao projetista aparatos similares aos previstos pelo projetista;
- Interação com uma ontologia de aplicação que lhe permita recuperar e exibir ao projetista as tarefas relacionadas a aplicações do domínio do experimento e que estão representadas na ontologia de aplicação definida;
- Geração de um *workflow* de autoria, que representa o protocolo (ou roteiro) do experimento projetado.

Na Listagem 5 é possível visualizar o algoritmo empregado pelo *módulo de autoria*.

```

1 Enquanto houver passos a criar{
2   Recuperar lista de aparatos representados na
   ontologia de domínio e exibir ao projetista;
3   Solicitar ao projetista a seleção dos aparatos
   utilizados no passo corrente;
4   Recomendar aparatos similares aos selecionados;
5   Permitir que o projetista selecione aparatos
   informados na recomendação;
6   Se (aparato possui propriedades) {
7     Solicitar ao projetista o preenchimento das
     propriedades;
8   }
9   Recuperar lista de tarefas representadas na
   ontologia de aplicação e exibir ao projetista;
10  Solicitar ao projetista a seleção da tarefa que
    corresponde ao passo corrente;
11 }
12 Gerar workflow de autoria;

```

Listagem 5 - Representação do algoritmo empregado no módulo de autoria

Após o levantamento de requisitos, o projetista, amparado pelo *módulo de autoria*, inicia a seleção dos aparatos que compõem cada passo do experimento, os quais estão representados na ontologia de domínio (Figura 9 - Item 3).

Para cada aparato selecionado, inferências são realizadas sobre a ontologia de domínio, permitindo recomendar ao projetista aparatos similares aos previstos por ele. Deste modo, é possível inferir novas informações que, embora não estejam explícitas, apóiam a autoria do experimento por meio da recomendação de recursos relevantes para sua definição e execução. Por exemplo, o projetista ao utilizar um microscópio ótico, pode receber a recomendação de uso de um microscópio eletrônico. Estas recomendações permitem a seleção de aparatos mais adequados ao experimento, cabendo ao projetista a decisão de aceitar ou não as recomendações.

Além da seleção de cada aparato, é necessário que o projetista configure suas propriedades, caso seja pertinente. Um exemplo que pode ilustrar essa situação é seleção do aparato “centrífuga”, que necessita ter as propriedades “velocidade de centrifugação” e “tempo de centrifugação” configurados. Note que as propriedades dos aparatos também são representadas na ontologia de domínio.

Cada passo previsto pelo projetista deve estar associado a uma tarefa prevista na ontologia de aplicação utilizada, portanto, ao final da definição de cada passo, o projetista deve associá-lo à sua respectiva tarefa, representada na ontologia de aplicação (Figura 9 - Item 2). Esta ontologia representa a semântica das tarefas dos experimentos por meio da descrição de procedimentos e respectivas interdependências. Por exemplo, o projetista ao criar

um passo cujo objetivo é centrifugar duas substâncias, ele então deve associar esse passo à tarefa “Centrifugar materiais” que é representada na ontologia de aplicação. A partir dessa associação, é possível validar, por meio de inferências na ontologia, a execução de protocolos executados de maneiras diferentes daquelas propostas pelo projetista, desde que obtenham um mesmo resultado. A associação de cada passo à respectiva tarefa é repetida sucessivamente até a criação de todos os passos que compõem o experimento.

A última tarefa da etapa de criação, também amparada pelo *módulo de autoria*, é a representação do protocolo definido pelo projetista por meio de um *workflow* de autoria (Figura 9 - Item 4), descrito na linguagem XPDL. Através da linguagem XPDL é possível representar formalmente os aparatos utilizados nos experimentos, suas configurações e representações na ontologia de domínio, a ordem de seus passos, e a associação das tarefas de cada passo à ontologia de aplicação. Recorde que a estrutura utilizada para representar o *workflow* de autoria na linguagem XPDL é descrita na seção 2.2.1.

3.2.2 Etapa “Executar Experimento”

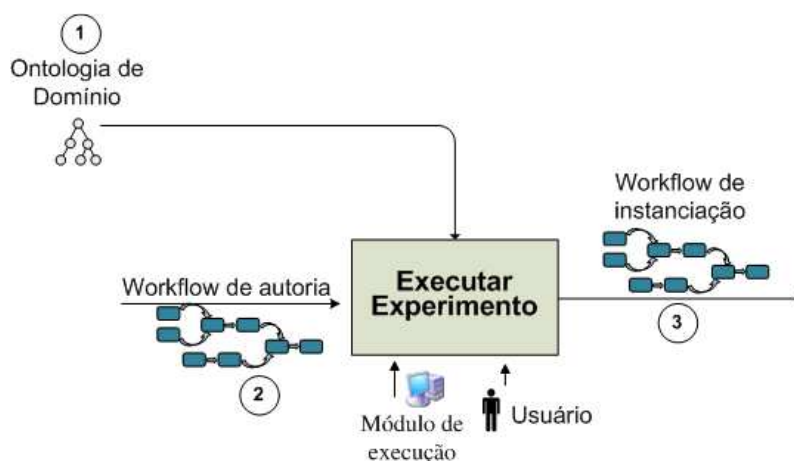


Figura 10 - Etapa "Executar Experimento" do processo WOntoVLab

A segunda etapa do processo WOntoVLab, “Executar Experimento”, destacada na Figura 10, permite aprendizes executarem experimentos criados por projetistas na etapa “Criar Experimento”.

Todas as tarefas envolvidas na etapa de execução são amparadas por um *módulo de execução*, com as seguintes funcionalidades:

- Interação com uma ontologia de domínio que lhe permita recuperar os aparatos representados na ontologia e exibi-los aos aprendizes para que os

mesmos possam selecionar aqueles que desejam utilizar para executar a prática laboratorial;

- Realizar inferências na ontologia de domínio e recomendar aos aprendizes aparatos similares aos selecionados (opcional);
- Recuperar o *workflow* de autoria, construído pelo projetista, e exibir aos aprendizes o protocolo do experimento selecionado;
- Gerar o *workflow* de instanciação, que representa o protocolo (roteiro) executado pelo aprendiz.

Na Listagem 6 é possível visualizar o algoritmo empregado pelo *módulo de execução*.

```

1 Enquanto houver passos a executar {
2   Recuperar lista de aparatos representados na
   ontologia de domínio e exibir ao aprendiz;
3   Solicitar ao aprendiz a seleção dos aparatos
   utilizados no passo corrente;
4   Recomendar aparatos similares aos selecionados
   (facultativo);
5   Permitir que o aprendiz selecione aparatos
   informados na recomendação;
6   Se (aparato possui propriedades) {
7     Solicitar ao aprendiz o preenchimento das
     propriedades;
8   }
9 }
10 Gerar workflow de instanciação;
```

Listagem 6 - Representação do algoritmo empregado no *módulo de instanciação*

Esta etapa se inicia com a recuperação do *workflow* de autoria (Figura 10 - Item 2), realizado pelo *módulo de execução*. Isso vai permitir ao aprendiz ter acesso à descrição textual dos objetivos que o projetista definiu para cada passo que compõe o experimento. Note que o aprendiz não tem acesso aos aparatos e configurações utilizados pelo projetista, mas sim à descrição dos objetivos das tarefas empregadas, como por exemplo, a descrição de um passo como “Centrifugar material”. Após finalizar a leitura da descrição de cada passo, o aprendiz deve iniciar a condução da experimentação, o que consiste na seleção dos aparatos necessários (representados na ontologia de domínio, Figura 10 - Item 1). Quando o aparato selecionado exigir que propriedades sejam informadas o aprendiz deve preenchê-

las. Um exemplo é a seleção do aparato “Centrífuga” que necessita ter as propriedades “Tempo de centrifugação” e “Velocidade de centrifugação” configuradas.

Após a escolha de aparatos é possível realizar inferências sobre a ontologia de domínio e recomendar ao aprendiz aparatos similares aos selecionados. A recomendação dos aparatos na etapa de execução é facultativa. Isto se deve ao fato de que recomendar aparatos aos aprendizes pode interferir em suas decisões no encaminhamento do procedimento adequado para dar seqüencia à execução do experimento. Portanto, cabe ao projetista definir, em função de suas decisões pedagógicas, se pretende disponibilizar aos seus aprendizes a funcionalidade de recomendação de aparatos similares em etapa de execução.

A condução do experimento se encerra quando o aprendiz finaliza a execução de todos os passos que compõem o experimento. A última tarefa da etapa de execução, também amparada pelo *módulo de execução*, consiste na geração de um *workflow* de instanciação (Figura 10 - Item 3), o qual contém os dados referentes a todos os passos executados pelo aprendiz. Estes dados incluem os aparatos utilizados, as configurações de suas propriedades, em quais passos foram empregados, qual a ordem de execução realizada, etc.

3.2.3 Etapa “Avaliar Experimento”

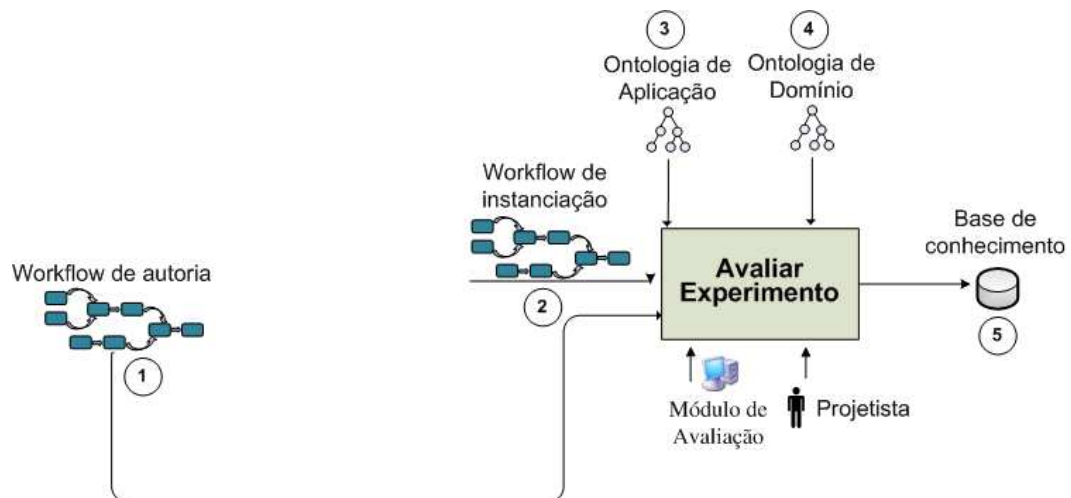


Figura 11 - Etapa "Avaliar Experimento" do processo WOntoVLab

A terceira e última etapa do processo WOntoVLab, “Avaliar Experimento”, destacada na Figura 11, é responsável pela avaliação do experimento executado pelo aprendiz. Nesta etapa a maior parte das tarefas é realizada por um *módulo de execução*, com as seguintes funcionalidades:

- Recuperação dos *workflows* de autoria e execução para permitir realizar comparação entre eles;
- Realização de inferências na ontologia de domínio a fim de detectar aparatos similares, para possível validação de utilização, no *workflow* de instanciação, de aparatos distintos aos recomendados no *workflow* de autoria;
- Realizar inferências na ontologia de aplicação a fim de detectar tarefas similares, analogamente ao item anterior, para possível validação de utilização, no *workflow* de instanciação, de tarefas distintas àquelas recomendadas no *workflow* de autoria;
- Comparação dos *workflows* de autoria e execução, levando em consideração os aparatos e tarefas similares, e recomendar ao projetista a avaliação do experimento executado pelo aprendiz.

Na Listagem 7 é possível visualizar em alto nível a representação do algoritmo empregado pelo *módulo de avaliação*.

```

1 Recuperar o workflow de autoria;
2 Recuperar o workflow de instanciação;
3 Lista<Passos> autoria = lista contendo os passos
do workflow de autoria que são diferentes do
workflow de instanciação;
4 Lista<Passos> execução = lista contendo os passos
do workflow de instanciação que são diferentes do
workflow de autoria;
5 Para autoria faça {
6   Se (inferir na ontologia de domínio se aparatos
utilizados na autoria são similares aos
utilizados na execução) {
7     Se (propriedades dos aparatos utilizados na
autoria e execução são iguais)
8       Validar execução;
9   } caso contrario {
10    Recuperar na ontologia de aplicação lista de
tarefas similares à autoria;
11    Se (execução corresponde à alguma tarefa
similar) {
12      Validar execução;
13    } caso contrário
14      Invalidar execução;
15    }
16 }
17 Exibir ao projetista recomendação da avaliação do
experimento;

```

Listagem 7 - Representação do algoritmo empregado no módulo de avaliação

Esta etapa se inicia com a carga dos *workflows* de autoria (Figura 11 - Item 1) e execução (Figura 11 - Item 2), realizada pelo *módulo de avaliação* que encaminha a comparação entre os mesmos, a fim de detectar os passos que foram executados pelo aprendiz de forma distinta à proposta no *workflow* de autoria.

Uma vez detectados os passos diferentes, são realizadas inferências nas ontologias (Figura 11 - Itens 3 e 4) a fim de verificar se o passo executado, apesar de não ser idêntico, é similar ao passo previsto no *workflow* de autoria. As próximas tarefas executadas nessa etapa dizem respeito apenas aos passos executados de maneira diferente da prevista, uma vez que os passos que são idênticos aos propostos são considerados corretos.

Cabe lembrar que na etapa de criação do experimento, foram registradas no *workflow* de autoria as associações dos aparatos utilizados com suas respectivas

representações na ontologia de domínio, assim como, as associações das tarefas às suas representações na ontologia de aplicação. Nesta monografia, essa associação é denominada referência semântica dos aparatos e referência semântica das tarefas, respectivamente.

Para cada passo diferente do proposto, o *módulo de avaliação* recupera no *workflow* de autoria as referências semânticas dos aparatos utilizados. Tais referências são utilizadas para a realização de inferências na ontologia de domínio a fim de averiguar se os aparatos utilizados na execução do experimento são similares aos aparatos propostos. Avalia-se não apenas se os aparatos são diferentes, mas também se a configuração de suas propriedades está compatível ou não com o que foi indicado no *workflow* de autoria. Por exemplo, se um aprendiz selecionou uma centrífuga e a configurou com velocidade de centrifugação igual a 1000 rotações por minuto e o projetista previu uma velocidade de 800 rotações por minuto, então esse passo é identificado como incorreto.

Quando as inferências na ontologia de domínio indicam que o passo executado não é similar ao proposto, o *módulo de avaliação* ainda não invalida o passo, pois necessita realizar inferências na ontologia de aplicação, a fim de verificar se mesmo utilizando aparatos não similares, o passo está correto.

Na seqüência, o *módulo de avaliação* recupera no *workflow* de autoria a referência semântica da tarefa empregada no passo, o que lhe permite realizar inferências na ontologia de aplicação para verificar se o aprendiz executou um procedimento similar ao proposto no *workflow* de autoria. Por exemplo, se o propósito do passo é fragmentar um tecido e para isso o projetista define a utilização de um bastão de louça para realizar a tarefa, é possível que a mesma tarefa seja realizada através da utilização de um equipamento chamado “Agitador Shaker”. Se confirmado que o passo executado é similar ao proposto pelo projetista, então o mesmo é considerado validado.

Finalizada a avaliação de todos os passos que foram executados de forma diferente ao proposto no *workflow* de autoria, o *módulo de avaliação* informa ao projetista todos os dados coletados, referentes à avaliação, para instrumentar o projetista na realização de sua crítica e avaliação final do experimento executado.

Os dados referentes à criação, execução e avaliação podem ser persistidos em uma base de dados (Figura 11 - Item 5) para permitir posterior análise, ou ainda, para auxiliar em novos processos de avaliação. Note que a persistência desses dados não interfere no funcionamento do processo WOntoVLab, por esse motivo sua implementação é facultativa.

É importante ressaltar que o processo WOntoVLab pode ser aplicado em diferentes domínios, para isso devem ser substituídas as ontologias utilizadas, considerando o

domínio desejado. Também é importante ressaltar que o processo de avaliação é adaptável e extensível, permitindo a implementação de algoritmos mais adequados para avaliação dos experimentos nos diversos domínios de aplicação.

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi definido neste capítulo o processo WOntoVLab, que oferece suporte a autoria, execução e avaliação de experimentos de modo que seja possível recomendar aparatos em sua criação e inferir semanticamente protocolos alternativos de execução, por meio do uso de ontologias, seus mecanismos de inferência e tecnologias de representação de *workflows*. Ao contrário dos trabalhos citados na seção 2.1.2, através do processo WOntoVLab é possível criar experimentos baseados em protocolos e em informações semânticas, permitindo aos aprendizes explorarem as diversas possibilidades de execução de um mesmo experimento, e conseqüentemente estimulando a criatividade e a sedimentação do conhecimento, de modo similar aos procedimentos realizados em laboratórios tradicionais. Note que através do uso de ontologias e tecnologia de representação de workflows (XPDL) é possível transpor os desafios enfrentados no desenvolvimento de laboratórios virtuais, os quais são descritos na Listagem 2 (página 23).

4 ASPECTOS DE IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO

Neste capítulo são detalhados os aspectos de implementação do protótipo desenvolvido neste trabalho. Na seção 4.1 são introduzidas as considerações iniciais. Na seção 4.2 é descrito o *framework* desenvolvido, o WPF. Na seção 4.3 é descrito o ambiente TIDIA-Ae, utilizado no desenvolvimento do protótipo do laboratório virtual. Na seção 4.4 é detalhado o laboratório virtual desenvolvido.

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo são descritos os aspectos relacionados à implementação do protótipo desenvolvido para fins de validação da proposta. O desenvolvimento do protótipo foi incremental, basicamente implementado em quatro etapas:

1. A primeira etapa consistiu no desenvolvimento de um laboratório virtual para o ambiente de aprendizado eletrônico TIDIA-AE, cuja estrutura está em conformidade com o projeto PIPE (BIAJIZ, 2008), em cujo escopo foi iniciado esse trabalho de mestrado. No laboratório virtual desenvolvido foram implementados os módulos de “execução e controle”, e “acompanhamento”. Estes módulos são exibidos na Figura 12, e detalhados na seção 4.4. Nesta primeira etapa não foram desenvolvidas funcionalidades relacionadas ao processo WOntoVLab, mas foi criado um arcabouço de um laboratório virtual para ser integrado ao processo WOntoVLab na etapa 3 do desenvolvimento do protótipo. Note que na Figura 12 é exibido separadamente o “módulo de apresentação”, pois a definição desse módulo não está no escopo do presente trabalho, e é considerado como um possível trabalho futuro.
2. A segunda etapa de desenvolvimento do protótipo envolveu as funcionalidades referentes à representação semântica de aparatos e processos, a recomendação de aparatos similares, e a inferência de protocolos alternativos ao proposto pelo projetista. Após análise detalhada dos trabalhos correlatos disponíveis na literatura, foi identificada não só a importância de se criar um laboratório virtual com base no processo WOntoVLab, mas também a necessidade de um *framework* com funcionalidades que auxiliem usuários a criarem seus próprios laboratórios virtuais. Estas funcionalidades foram implementadas no *framework* WPF, fruto

dessa segunda etapa do desenvolvimento do protótipo. O WPF é um *framework* que provê métodos para a autoria de laboratórios virtuais, independentemente de domínio.

3. A terceira etapa do desenvolvimento do protótipo envolveu a união do laboratório virtual e do *framework* WPF, desenvolvidos nas etapas 1 e 2 respectivamente. Através dos métodos providos pelo WPF foi possível adicionar ao laboratório virtual desenvolvido na etapa 1 as funcionalidades referentes à representação semântica de aparatos e processos, a recomendação de aparatos similares, e a inferência de protocolos alternativos ao proposto pelo projetista. Na Figura 12 é representada uma visão global do laboratório virtual desenvolvido no ambiente TIDIA-AE adaptado para explorar as funcionalidades disponibilizadas pelo *framework* WPF.
4. A quarta etapa consistiu no desenvolvimento de um *web service*, intitulado WPF-WS, com o propósito de disponibilizar os métodos providos pelo *framework* WPF através da *web*.

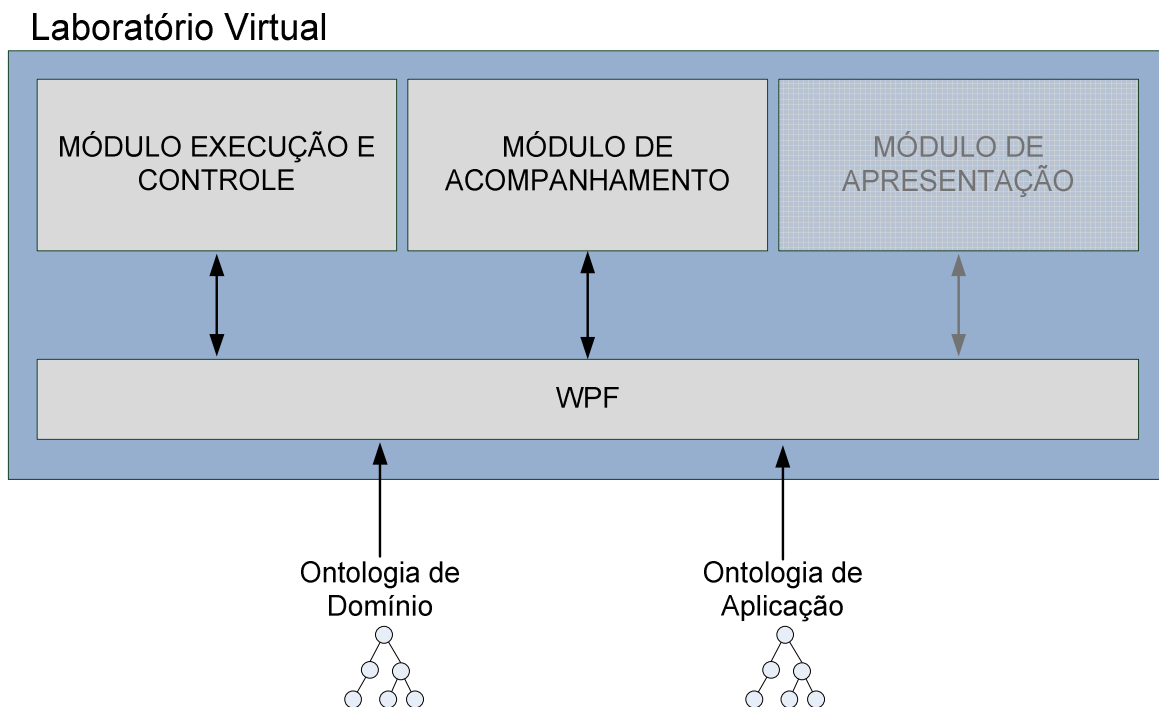


Figura 12 - Visão global do laboratório virtual desenvolvido no ambiente TIDIA-AE e do *framework* WPF.

Nas próximas seções deste capítulo são descritas as informações necessárias para a compreensão do protótipo desenvolvido. Na seção 4.2 são descritos os aspectos de implementação e as funcionalidades do *framework* WPF e do *web service* desenvolvido. Na seção 4.3 são brevemente introduzidos os conceitos referentes ao ambiente TIDIA-AE. Na seção 4.4 são detalhados os aspectos de autoria do laboratório virtual desenvolvido no ambiente TIDIA-AE, amparado pelos métodos providos pelo *framework* WPF.

4.2 WPF (*WOntoVLab Process Framework*)

O WPF é um *framework* desenvolvido na linguagem Java, com o propósito de prover funcionalidades que auxiliem o desenvolvimento de laboratórios virtuais com base no processo WOntoVLab (seção 3.2). O WPF foi desenvolvido como um *plugin* que pode ser importado em qualquer projeto Java. Entre as diversas funcionalidades providas, é possível, por exemplo, recomendar aparatos e procedimentos similares, recuperar a referência de uma tarefa na ontologia de aplicação, recuperar os atributos de configuração de um aparato, comparar os *workflows* de autoria e execução, entre outras funcionalidades. A seguir são listados os métodos providos pelo WPF, bem como suas funcionalidades:

- `List<Material> doGetAllMaterials()`
Retorna uma lista com todos os materiais (aparatos) representados na ontologia de domínio.
- `Material doGetMaterial(String domainOntologyMaterialReference)`
Retorna um material específico, representado na ontologia de domínio
- `List<Material> doGetInstancesSimilarTo(Material material)`
Retorna uma lista de materiais similares ao material passado como parâmetro, por meio de inferências realizadas na ontologia de domínio.
- `List<Task> aoGetAllTasks()`
Retorna uma lista contendo todas as tarefas representadas na ontologia de aplicação.
- `Task aoGetTask(String ontoInstanceReference)`
Retorna uma tarefa específica, representada na ontologia de aplicação.
- `List<Task> aoGetTasksSimilarTo(String applicationOntologyTaskReference)`
Retorna uma lista de tarefas similares à tarefa passada como parâmetro, por meio de inferências realizadas na ontologia de aplicação.
- `creatingAuthorshipWorkflow(Experiment experiment, String xpdlFilePath)`

Gera o *workflow* de autoria, através da passagem de parâmetro do objeto “experimento”.

- `creatingExecutionWorkflow(Experiment experiment, String xpdlFilePath)`

Gera o *workflow* de instanciação, através da passagem de parâmetro do objeto “experimento”.

- `void readAuthorshipWorkflow(String xpdlPath)`

Lê o *workflow* de autoria para permitir a sua comparação.

- `void readExecutionWorkflow(String xpdlPath)`

Lê o *workflow* de instanciação para permitir a sua comparação.

- `String comparingWorkflows()`

Compara os *workflows* de autoria e execução e retorna detalhes da avaliação.

Para o desenvolvimento deste framework, foram utilizadas as tecnologias Java (SUN), Apache Tomcat (APACHE SOFTWARE FOUNDATION, **Tomcat**), Axis2 (APACHE SOFTWARE FOUNDATION, **AXIS2**), Jena (CARROLL et al., 2004) e XPDL (WORKFLOW MANAGEMENT COALITION, **XPDL - XML Process Definition Language**). O WPF utiliza a linguagem XPDL para representar os protocolos dos experimentos, e provê métodos que utilizam inferências em ontologias, de acordo com o processo WOntoVLab.

Como um dos propósitos dos laboratórios virtuais é permitir a execução de experimentos em qualquer hora e lugar, há uma forte tendência em disponibilizá-los para acesso via *web*. Desta forma, foi desenvolvida uma versão do WPF como *web service*, intitulado WPF-WS. Isso possibilita ao WPF maior abrangência e acessibilidade aos usuários que desejam implementar laboratórios virtuais baseando-se no processo WOntoVLab. Para facilitar a implementação do WPF e WPF-WS foi adotado o padrão de projeto *Facade (Facade Design Pattern)*, o qual permite definir uma interface para um conjunto de interfaces de um subsistema, possibilitando então tornar este subsistema mais fácil de ser usado (GAMMA et al., 1995). A lista de métodos providos pelo WPF-WS pode ser acessada através do endereço <http://200.18.98.56:8080/WOntoVLab-WebService/services/listServices>.

Na Figura 13 é possível visualizar um exemplo onde três diferentes laboratórios virtuais, de diferentes domínios, acessam as funcionalidades do WPF por meio de *Web services*. Por meio desta figura é possível notar que o WPF-WS provê métodos que suprem simultaneamente a necessidade de diferentes laboratórios virtuais, em diferentes domínios.

Assim como já citado na seção 3.2, os métodos do WPF que são responsáveis pela avaliação dos experimentos podem ser estendidos e/ou reimplementados, aumentando sua flexibilidade e permitindo que usuários utilizem seus próprios algoritmos para validação de experimentos, além daquele disponibilizado pelo WPF.

Embora exista uma gama de padrões de *workflow* existentes, conforme descrito na seção 2.2.2, os métodos do WPF responsáveis pela interpretação dos *workflows* de autoria e execução foram implementados de modo a reconhecer, nesta versão, o padrão “sequência”, sendo este suficiente para realizar o estudo de caso descrito na seção 5.2. Também na primeira versão, foram implementados métodos que permitem comparar *workflows* de autoria e execução que contenham um mesmo número de passos. Futuramente, deseja-se adicionar ao WPF funcionalidades que possibilitem reconhecer *workflows* compostos por outros padrões, além do padrão *seqüência*, e permitir a comparação de *workflows* de autoria e execução que possuam números distintos de passos.

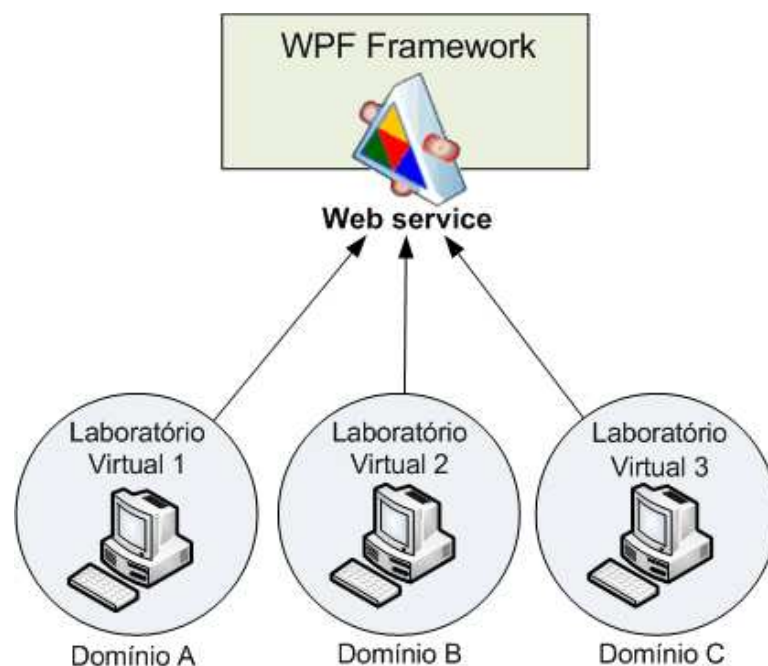


Figura 13 - Diferentes laboratórios virtuais, de diferentes domínios, acessando os métodos do WPF por meio de *web services* (WPF-WS).

Após o desenvolvimento do WPF, o mesmo foi utilizado no desenvolvimento do protótipo de um laboratório virtual para o ambiente TIDIA-Ae, descrito na seção 4.4. Para permitir a compreensão do laboratório virtual desenvolvido, na próxima seção é introduzida brevemente uma descrição do ambiente TIDIA-Ae.

4.3 AMBIENTE TIDIA-AE

O TIDIA-AE (Tecnologia da informação para o desenvolvimento da internet avançada – Aprendizado eletrônico), exibido na Figura 14, é um ambiente colaborativo para aprendizado eletrônico que trabalha sobre a plataforma Sakai (SAKAI). Este ambiente é acessível através da *web* e disponibiliza uma série de ferramentas, como por exemplo, chat, lousa eletrônica, wiki, entre outras. Esse ambiente é utilizado para auxiliar professores no processo de aprendizagem. Nele é possível cadastrar notas de alunos, marcar e realizar reuniões por meio de ferramentas síncronas de áudio e vídeo, inserir datas importantes em calendários comuns às turmas, etc.

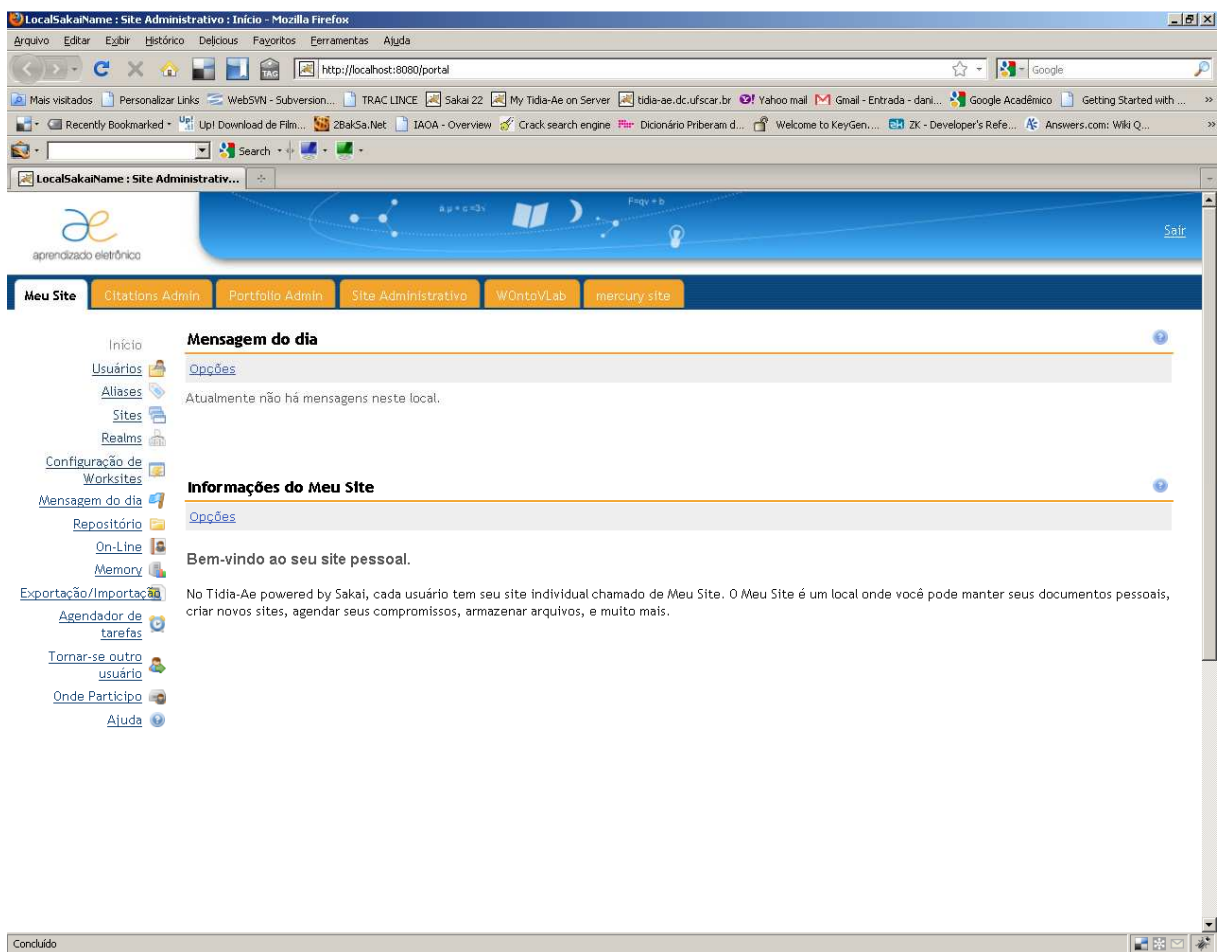


Figura 14 – Tela principal do ambiente TIDIA-AE.

O autor desta dissertação tem participado ativamente do projeto TIDIA, por meio do desenvolvimento da ferramenta Weblab (Laboratório Remoto), a qual permite a execução de experimentos realizados remotamente (MELO; CUGLER; TEIXEIRA, 2009). Este desenvolvimento possibilitou ao autor adquirir amplo conhecimento sobre o ambiente TIDIA-AE, o qual possui características adequadas para a realização de um estudo de caso

para o processo WOntoVLab. O estudo de caso foi realizado através da utilização do *framework* WPF (*WOntoVLab Process Framework*), um dos frutos desta pesquisa de mestrado.

Em desenvolvimento desde 2004, o projeto TIDIA-AE provê um ambiente para aprendizado eletrônico estável e composto por ferramentas que podem ser utilizadas de forma colaborativa. Foi escolhido como ambiente para realização do estudo de caso não apenas por suas características favoráveis de implementação, mas também por prover um ambiente com potencial de desenvolvimento de ferramentas que utilizem o processo WOntoVLab.

4.4 PROTÓTIPO DE UM LABORATÓRIO VIRTUAL NO AMBIENTE TIDIA-AE

Devido ao fato de ter sido definido nesta dissertação um processo para autoria de laboratórios virtuais, foi implementado um protótipo de um laboratório virtual como uma ferramenta do TIDIA-AE, a fim de criar um ambiente onde as funcionalidades do processo WOntoVLab possam ser aplicadas. O laboratório desenvolvido está dividido em três módulos:

- **Módulo de Execução e Controle:** o módulo de execução e controle permite o cadastro dos aparatos do laboratório, a autoria e execução de experimentos, e o controle da conectividade dos usuários. Através deste módulo, projetistas podem adicionar aparatos ao laboratório e criar os protocolos que compõem os experimentos. Todos os protocolos são compostos por passos, os quais possuem uma ordem de execução que deve ser respeitada. Aprendizes podem acessar estes protocolos de execução, lê-los e em seguida podem desenvolvê-los como se estivessem em um laboratório real. Os passos são controlados pelo ambiente, sendo que os acertos e erros são contabilizados e registrados para que projetistas possam avaliar o desempenho dos aprendizes nas tarefas do laboratório. Essa última funcionalidade é controlada pelo *Módulo de Acompanhamento* descrito a seguir.
- **Módulo de Acompanhamento** – o módulo de acompanhamento recebe informações do módulo de execução e controle e então realiza comparações entre os *workflows* de

autoria e execução, permitindo aos projetistas registrarem o desempenho dos aprendizes na execução das tarefas de laboratório.

- **Módulo de Apresentação:** esse módulo não possui funcionalidades essenciais para suprir os requisitos do processo WOntoVLab, e é definido nesta pesquisa como um trabalho futuro, sendo ele descrito nessa dissertação apenas com o propósito de manter compatibilidade com o projeto PIPE (BIAJIZ, 2008). A função do módulo de apresentação é ilustrar protocolos relativos à demonstração do uso de produtos, tais como materiais permanentes, soluções, reagentes, etc. para empresas que produzam e vendam os mesmos. Este módulo pode ser utilizado, por exemplo, por representantes de venda que apresentam, em menor ou maior grau, dificuldades em apresentar aos possíveis compradores todas as potencialidades de seus produtos. Assim, representantes de laboratórios podem apresentar, através do ambiente, as características dos materiais que desejam vender, simular seu uso em laboratório, verificar estatísticas, etc.

Como já descrito na seção 4.1, o protótipo do laboratório virtual no ambiente TIDIA-AE foi desenvolvido em duas versões:

- A primeira, referente a um laboratório virtual que não possui as funcionalidades previstas no processo WOntoVLab.
- A segunda, que possui todas as funcionalidades previstas no processo WOntoVLab, fruto da integração do *framework* WPF à primeira versão do laboratório virtual.

Para o desenvolvimento da primeira versão do protótipo do laboratório virtual, foi necessário realizar a modelagem do esquema conceitual do banco de dados, a fim de armazenar corretamente os dados do laboratório virtual. A seguir, na Figura 15, é exibido o diagrama de entidade e relacionamento correspondente a este esquema conceitual.

Note que no esquema conceitual é definida a entidade fraca *Passo*, que compõe sua entidade proprietária, *Experimento*. Cada passo pode preceder nenhum ou um passo que é composto por um ou mais materiais. Também são definidas as agregações entre as entidades “*Material e Passo*” e “*Aluno e Experimento*”. O relacionamento “*possui*” que interliga as agregações tem o propósito de registrar os acertos e erros dos aprendizes enquanto conduzem os experimentos.

Na última versão do laboratório virtual, a representação dos protocolos dos experimentos não é mais realizada por meio de dados persistidos em banco de dados relacional, conforme Figura 15, mas em linguagem XPDL, devido ao uso do *framework* WPF.

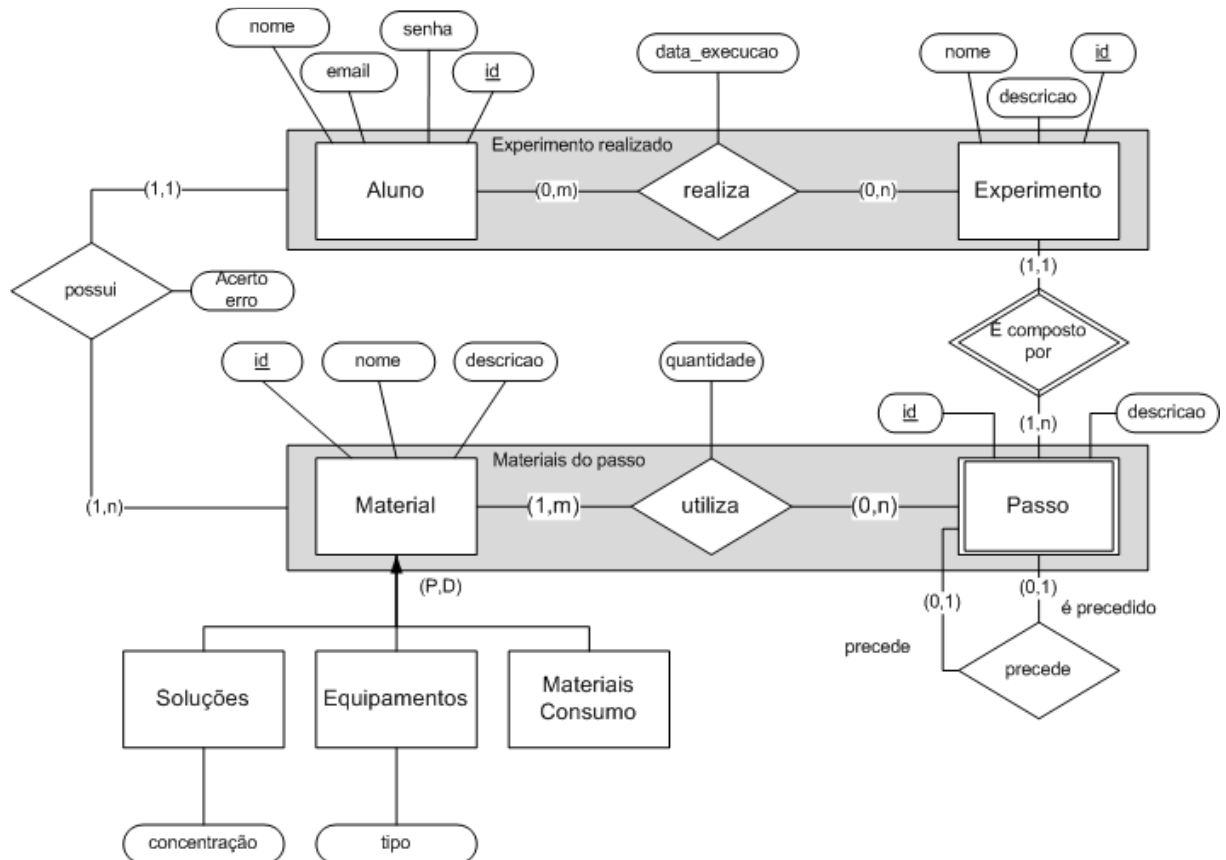


Figura 15 - Esquema conceitual do banco de dados.

Para realizar a autoria de um novo experimento no laboratório virtual desenvolvido, um projetista deve seguir os seguintes passos:

1. Cadastrar os aparatos necessários (caso ainda não estejam cadastrados), associando-os com suas respectivas representações na ontologia de domínio;
2. Cadastrar um novo experimento contendo nome, descrição e uma figura com o propósito de ilustrar o experimento;
3. Cadastrar todos os passos que compõem o experimento (Figura 16), sendo que cada passo é composto por um ou mais aparatos, sua associação a uma tarefa na ontologia de aplicação e uma descrição. É necessário preencher também as propriedades dos aparatos, caso seja pertinente ao aparato;

4. Salvar o experimento.

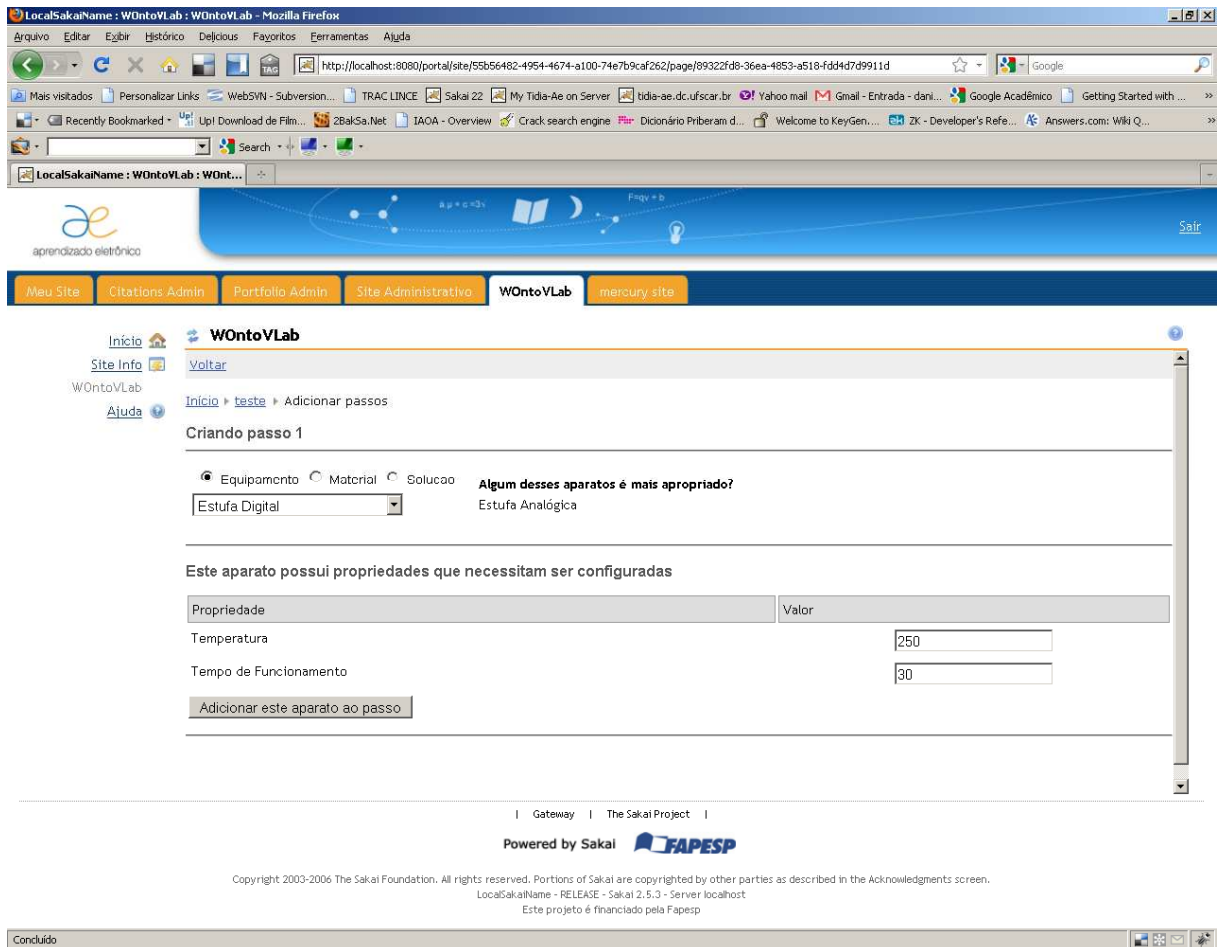


Figura 16 - Tela de cadastro dos passos que compõem um experimento.

Depois de finalizada a autoria de um novo experimento, o mesmo se torna disponível para execução. Para executá-lo, os seguintes passos devem ser seguidos:

1. Escolher o experimento desejado;
2. Ler a descrição do experimento e compreender os objetivos propostos pelo projetista;
3. Ler o protocolo do experimento, a fim de conhecer os passos a serem executados;
4. Selecionar os aparatos para cada passo e configurar suas propriedades, caso existam;
5. Repetir a execução da etapa 4 até finalizar o experimento.

Na Figura 17 é exibida a tela de execução do experimento, onde são disponibilizados aparatos para que aprendizes possam selecioná-los, configurá-los e então conduzir a execução do experimento.

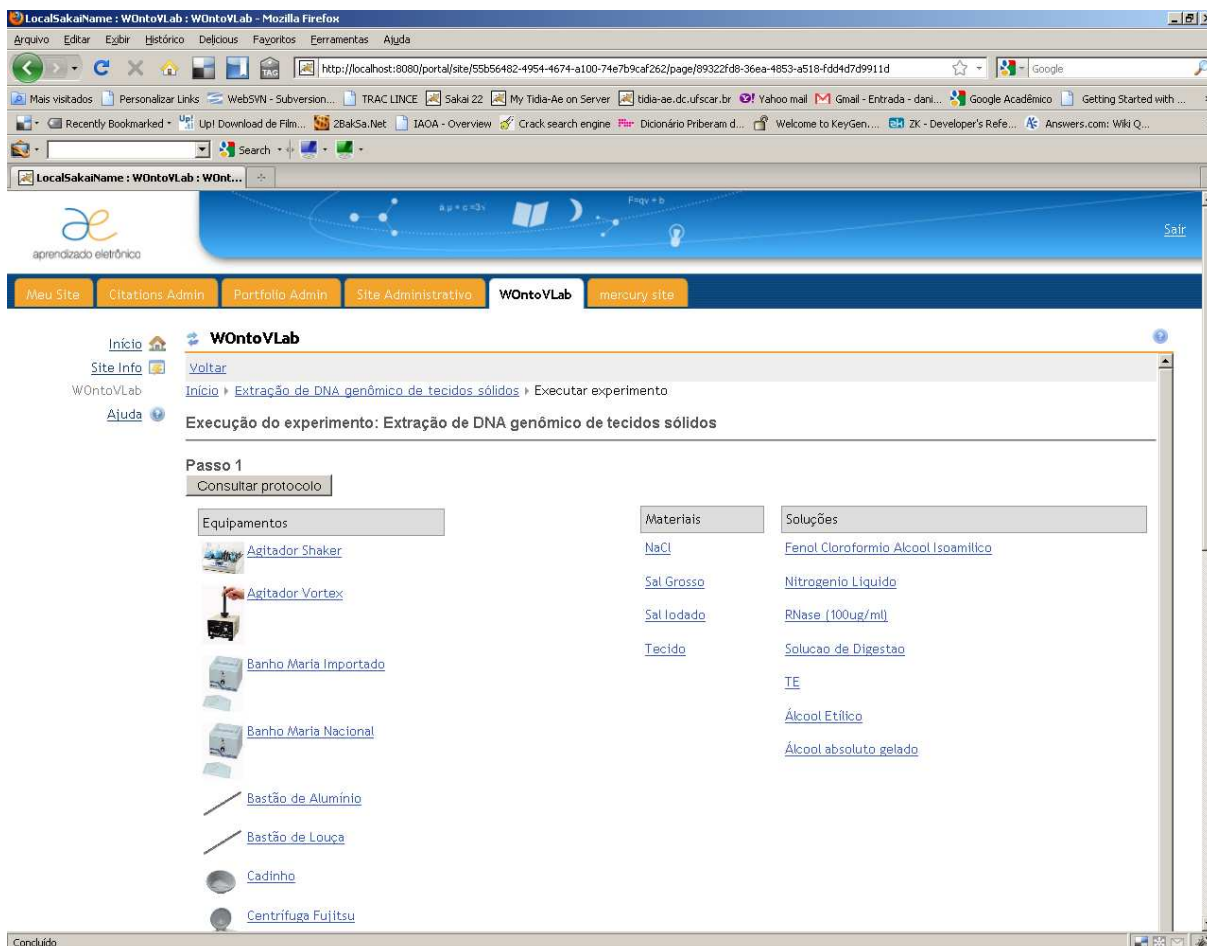


Figura 17 – Tela de execução de experimentos.

Depois de executado o experimento é realizada a comparação entre o *workflow* de autoria, proposto pelo projetista, e o *workflow* de instanciação, conforme exibido na Figura 18. A tela representada nesta figura exibe ao projetista, em linguagem natural, um *feedback* contendo informações referentes à avaliação realizada pelo *módulo de avaliação*. Esta comparação vai facilitar ao projetista realizar a avaliação do experimento executado.

A etapa de avaliação é amparada por inferências realizadas nas ontologias de domínio e aplicação, permitindo validar experimentos realizados por aprendizes que utilizam aparatos e procedimentos diferentes dos propostos pelo projetista, desde que sejam verificados como sendo similares por meio de inferências nas ontologias.

A versão mais recente do laboratório virtual, apresentada nesta seção, pode ser acessada através do endereço <http://200.18.98.56:8080/portal>. Os dados para *login* são: usuário de acesso “avaliador” e senha “avaliador”.

The screenshot displays a Mozilla Firefox browser window with the URL `http://localhost:8080/portal/site/55b56482-4954-4674-a100-74e7b9caf262/page/89322fd8-36ea-4853-a518-fdd4d7d9911d`. The page header includes the logo for 'aprendizado eletrônico' and navigation tabs for 'Meu Site', 'Citations Admin', 'Portfolio Admin', 'Site Administrativo', 'WOntoVLab', and 'mercury.site'. A notification banner at the top states: 'Execução do experimento 'Experimento Teste' foi finalizada. A seguir é exibido o detalhamento de sua comparação com o experimento proposto pelo(a) projetista.'

The main content area contains a text box with the following text:

```

VERIFICANDO OS PASSOS DIFERENTES
=====

OK --> Step_1
Passo diferente encontrado: Step_2

VERIFICANDO SE OS PASSOS DIFERENTES POSSUEM MATERIAIS SIMILARES NA ONTOLOGIA DE DOMINIO
=====

Passo diferente: Step_2

Após a avaliação dos passos executados através do auxílio da ontologia de domínio, seguem os passos que permanecem incorretos
--> Step_2

VERIFICANDO SE PASSOS QUE PERMANECEM INCORRETOSS POSSUEM REFERENCIA ALTERNATIVA NA ONTOLOGIA DE APLICACAO
=====
  
```

An 'Ok' button is located below the text box. The footer of the page includes the text 'Powered by Sakai' with the FAPESP logo, and a copyright notice: 'Copyright 2003-2006 The Sakai Foundation. All rights reserved. Portions of Sakai are copyrighted by other parties as described in the Acknowledgments screen. LocalSakaiName - RELEASE - Sakai 2.5.3 - Server localhost. Este projeto é financiado pela Fapesp.'

Figura 18 – Tela de avaliação de experimentos.

5 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo é detalhado o estudo de caso realizado neste trabalho. Na seção 5.1 são introduzidas as considerações iniciais. Na seção 5.2 é detalhado o estudo de caso realizado para o experimento “Extração de DNA”. Na seção 5.3 são relatadas as considerações finais.

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Com o propósito de validar e demonstrar uma aplicação real do processo WOntoVLab, na seção 5.2 é descrito um estudo de caso para a criação de um laboratório virtual para o domínio de biologia molecular, especificamente para o experimento de "Extração de DNA", através do uso do WPF *framework*.

5.2 APLICANDO O PROCESSO WONTOVLAB: UM ESTUDO DE CASO PARA O EXPERIMENTO “EXTRAÇÃO DE DNA”

Para aplicar o processo WOntoVLab neste estudo de caso, primeiramente foram desenvolvidas uma ontologia de domínio e outra de aplicação, amparadas pela orientação de uma especialista do domínio de biologia molecular. Nestas ontologias foram descritos os conceitos, relacionamentos e tarefas relacionadas ao experimento de extração de DNA. Na Figura 19 é apresentado trecho da ontologia de domínio modelada. Nesta ontologia estão representados alguns aparatos presentes em laboratórios de biologia molecular, os quais são utilizados no estudo de caso descrito nesta seção. É possível verificar que a ontologia utilizada foi modelada agrupando os aparatos de laboratório em três categorias: Equipamento, Reagentes e Soluções e Material. Este agrupamento foi sugerido pela especialista de domínio, de modo a melhor se adequar às necessidades dos experimentos.

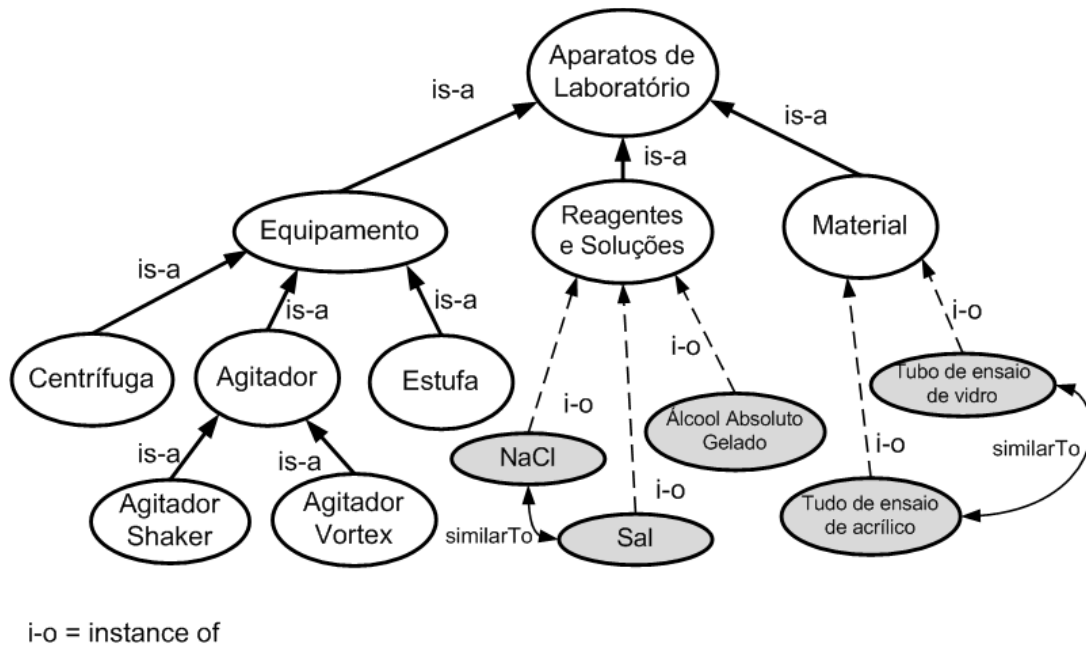


Figura 19 - Representação parcial de uma ontologia do domínio de biologia molecular

Em seguida, foi iniciada a etapa de autoria do experimento, a qual consistiu no levantamento dos requisitos do processo de extração de DNA. Esta etapa foi realizada com o auxílio da Dra. Célia Maria de Jesus, a qual delineou o protocolo do experimento, conforme diagrama de estados exibido na Figura 20.

Depois de levantados os requisitos e estipulado o fluxo de execução do experimento, a próxima etapa consiste em delinear os passos do experimento no laboratório virtual.

Como o experimento de extração de DNA envolve mais de duas dezenas de passos, para uma melhor compreensão é descrito detalhadamente, retratando passo a passo como aconteceu todo o processo de criação, execução e avaliação do passo número 11, o qual compreende em inserir álcool absoluto gelado e sal em um tubo de ensaio. Este estudo de caso foi realizado através da chamada dos métodos do WPF, executados em lote.

Na criação do passo número 11 do experimento de extração de DNA, foram selecionados através dos métodos do WPF os aparatos que compõem este passo.

O primeiro aparato selecionado foi o elemento “NaCl”. Depois de selecionado, o WPF realizou inferências sobre a ontologia de domínio e recomendou o uso do elemento “Sal comum”, sendo que esta recomendação não foi aceita, neste momento, pela projetista do experimento.

Em seguida foi configurada a quantidade de 2mg a ser utilizada (a unidade de medida do aparato utilizado também é recuperada na ontologia de domínio através dos métodos providos pelo WPF).

O segundo aparato selecionado foi a substância “Álcool absoluto gelado”, sendo utilizada a quantidade de 40ml e não havendo recomendação de substâncias similares para o mesmo.

Na seqüência foi selecionado o aparato “Tubo de ensaio de acrílico”, sendo recomendado pelo WPF o aparato similar “Tubo de ensaio de vidro”. Essa recomendação foi acatada pela projetista do experimento.

Por fim, foi associado o passo criado com sua respectiva tarefa na ontologia de aplicação, a fim de permitir a inferência de passos similares na etapa de avaliação. Ou seja, o passo 11 foi associado à tarefa com identificação “AdicionarSalAlcoolTuboEnsaioMetodo1” representada na ontologia de aplicação. Esta identificação corresponde à representação da tarefa “Inserir álcool absoluto gelado e sal em um tubo de ensaio” na ontologia de aplicação.

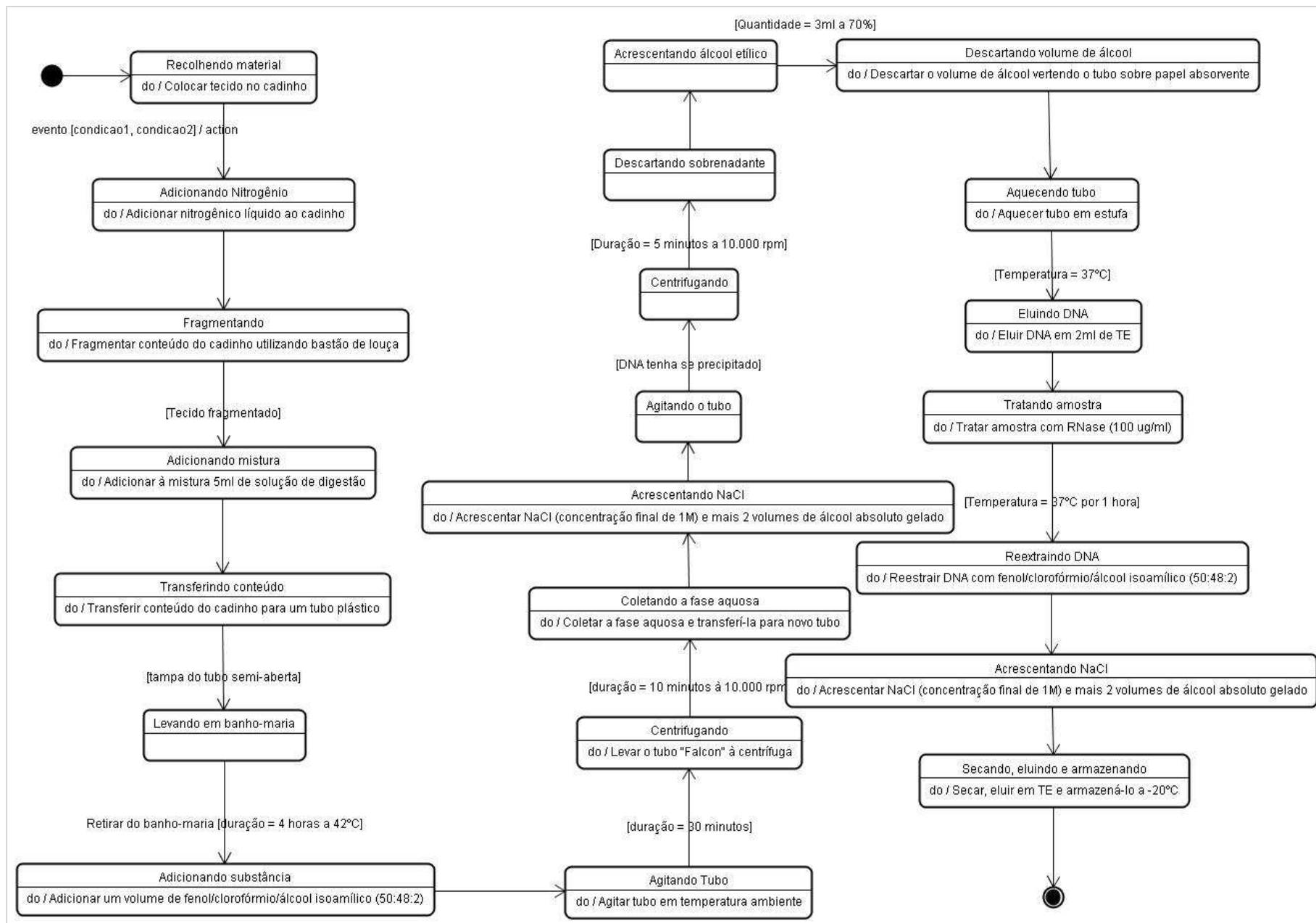


Figura 20 - Representação do protocolo do experimento "Extração de DNA" por meio de um diagrama de estados.

Após finalizada a criação do passo 11, assim como todos os demais passos que compõem o experimento, o WPF gerou o *workflow* de autoria, a fim de representar formalmente o experimento criado.

Na Listagem 8 é representado, na linguagem XPDL, o trecho do *workflow* de autoria referente ao passo 11. Na linha 2 da Listagem 8, através do atributo *id* é descrita uma identificação para o experimento. Na linha 5 é iniciada a configuração do passo 11 e na linha 8 é descrito textualmente seu objetivo. Através das *tags ExtendedAttribute* com atributo *Name=Material* são representados os aparatos utilizados no passo descrito, por meio de sua referência na ontologia de domínio. Essas *tags* podem ainda ter outras *subtags ExtendedAttribute* as quais representam configurações do aparato representado. Por exemplo, na linha 14 da Listagem 8 é exibida uma *tag ExtendedAttribute* que representa a quantidade de 40ml utilizada para a substância “Álcool absoluto gelado”. A associação do passo criado à sua representação na ontologia de aplicação é feita através da *tag ExtendedAttribute* com atributo *Name=ApplicationOntologyReference*.

Gerado o *workflow* de autoria, a etapa de criação do experimento é considerada finalizada. A próxima etapa consistiu na execução deste experimento. A etapa de execução consiste, primeiramente, na leitura da descrição do protocolo delineado pelo projetista, assim, é possível saber qual é o objetivo do experimento, e quais são os passos envolvidos. Em seguida é iniciada sua execução, a qual compreende basicamente na seleção dos aparatos e na configuração de suas propriedades.

Esta etapa também é amparada pelos métodos do WPF, ao recuperar lista de aparatos na ontologia de domínio e recomendar seus similares. Na execução do passo 11 foram utilizados os seguintes aparatos: “NaCl” (Quantidade = 2mg), “Álcool absoluto gelado” (Quantidade = 40ml), “Agitador Shaker”, “Beaker” e “Tubo de ensaio de acrílico”.

Note que na execução foi desejado utilizar o aparato “Agitador Shaker”, com o propósito de homogeneizar a mistura entre “NaCl” e “Álcool absoluto gelado” antes de ser inserida no “Tubo de ensaio de acrílico”. Finalizada a execução do experimento, o WPF gerou o *workflow* de instanciação, conforme representado na Listagem 9.

Uma vez gerado o *workflow* de instanciação, nota-se que os aparatos utilizados são diferentes dos propostos pelo *workflow* de autoria, no entanto, isso não quer dizer que o passo foi executado de maneira incorreta. Para verificar a validade do passo executado, é então iniciada a última etapa do processo WOntoVLab, a avaliação do experimento. Nesta etapa, são utilizados os métodos providos pelo WPF para realizar a comparação dos *workflows* de autoria e execução.

```

1  ...
2  <xpdl:WorkflowProcess Id="AuthorshipDNAExtractionProcessId"
   Name="DNAExtractionProcess">
3
4  ...
5    <xpdl:Activities>
6      <xpdl:Activity Id="Step_11">
7
8        <xpdl:Description>Add cold absolute alcohol and
          salt in a glass test tube</xpdl:Description>
9
10       <xpdl:ExtendedAttributes>
11
12         <xpdl:ExtendedAttribute Name="Material"
           Value="http://www.owl-ontologies.com/
             Ontology1251833905.owl#AlcoolAbsolutoGelado">
13
14           <xpdl:ExtendedAttribute Name="http://www.owl-
             ontologies.com/Ontology1251833905.owl#quanti
             dade" Value="40"/>
15
16         </xpdl:ExtendedAttribute>
17
18         <xpdl:ExtendedAttribute Name="Material"
           Value="http://www.owl-ontologies.com/
             Ontology1251833905.owl#NaCl">
19
20           <xpdl:ExtendedAttribute Name="http://www.owl-
             ontologies.com/Ontology1251833905.owl#quanti
             dade" Value="2"/>
21
22         </xpdl:ExtendedAttribute>
23
24         <xpdl:ExtendedAttribute Name="Material"
           Value="http://www.owl-ontologies.com/
             Ontology1251833905.owl#TuboEnsaioVidro"/>
25
26         <xpdl:ExtendedAttribute
           Name="ApplicationOntologyReference"
           Value="http://www.owl-ontologies.com/
             Ontology1258201595.owl#AdicionarSalAlcoolTuboEnsaio
             Metodo1"/>
27
28       </xpdl:ExtendedAttributes>
29
30     </xpdl:Activity>
31   </xpdl:Activities>
32 </xpdl:WorkflowProcess>
33 ...

```

Listagem 8 - Trecho de código XPDL do workflow de autoria

A primeira tarefa realizada na comparação dos *workflows* de autoria e execução é verificar se o número de aparatos utilizados nos passos é idêntico. Caso sejam, é então verificado se foi utilizado algum aparato diferente do proposto. Caso encontrado algum aparato diferente, então o WPF realiza inferências na ontologia de domínio para verificar se o aparato utilizado é similar ao proposto.

No entanto, a execução do passo 11 não possui o mesmo número de aparatos propostos pelo *workflow* de autoria, conforme destacado na Tabela 3. Logo, o WPF recupera a associação do passo 11 à sua representação na ontologia de aplicação (a associação do passo 11 à sua respectiva tarefa na ontologia de aplicação pode ser visualizada na linha 26 da Listagem 8). Desta forma, é possível que o WPF realize inferências na ontologia de aplicação, a fim de verificar se há alguma tarefa que possua as mesmas características do passo executado.

```

1  ...
2  <xpdl:Activities>
3    <xpdl:Activity Id="Step_11">
4      <xpdl:ExtendedAttributes>
5
6        <xpdl:ExtendedAttribute Name="Material"
          Value="http://www.owl-
          ontologies.com/Ontology1251833905.owl#Alcool
          AbsolutoGelado"/>
7
8          <xpdl:ExtendedAttribute Name="http://www.owl-
          ontologies.com/Ontology1251833905.owl#quanti
          dade" Value="40"/>
9
10       </xpdl:ExtendedAttribute>
11
12       <xpdl:ExtendedAttribute Name="Material"
          Value="http://www.owl-
          ontologies.com/Ontology1251833905.owl#NaCl"/>
13
14         <xpdl:ExtendedAttribute Name="http://www.owl-
          ontologies.com/Ontology1251833905.owl#quanti
          dade" Value="2"/>
15
16       </xpdl:ExtendedAttribute>
17
18       <xpdl:ExtendedAttribute Name="Material"
          Value="http://www.owl-
          ontologies.com/Ontology1251833905.owl#Agitador
          Shaker"/>
19
20       <xpdl:ExtendedAttribute Name="Material"
          Value="http://www.owl-
          ontologies.com/Ontology1251833905.owl#Beaker"/>
21
22       <xpdl:ExtendedAttribute Name="Material"
          Value="http://www.owl-
          ontologies.com/Ontology1251833905.owl#TuboEn
          saioVidro"/>
23
24     </xpdl:ExtendedAttributes>
25  ...

```

Listagem 9 - Trecho de código XPDL do *workflow* de instanciação

Depois de realizada as inferências, foi constatado que o passo executado é similar à tarefa “AdicionarSalAlcoolTuboEnsaioMetodo3” (conforme exibido na Figura 21), logo, é encerrada a etapa de avaliação do passo 11, sendo averiguado que, mesmo sendo executado de maneira diferente da prevista pelo *workflow* de autoria, o mesmo está correto.

<i>Materiais utilizados na autoria do experimento</i>	<i>Materiais utilizados na execução do experimento</i>
1 - NaCl (2Mg)	1 - NaCl (2Mg)
2 - Álcool Absoluto Gelado (40ML)	2 - Álcool Absoluto Gelado (40ML)
3 - Tubo de ensaio de vidro	3 - Agitador Shaker
	4 - Beaker
	5 - Tubo de ensaio de acrílico
Nome da tarefa: Inserir álcool absoluto gelado e sal em um tubo de ensaio	Nome da tarefa: Inserir álcool absoluto gelado e sal em um tubo de ensaio
Referência na ontologia de aplicação: “AdicionarSalAlcoolTuboEnsaioMetodo1”	Referência na ontologia de aplicação: “AdicionarSalAlcoolTuboEnsaioMetodo3”

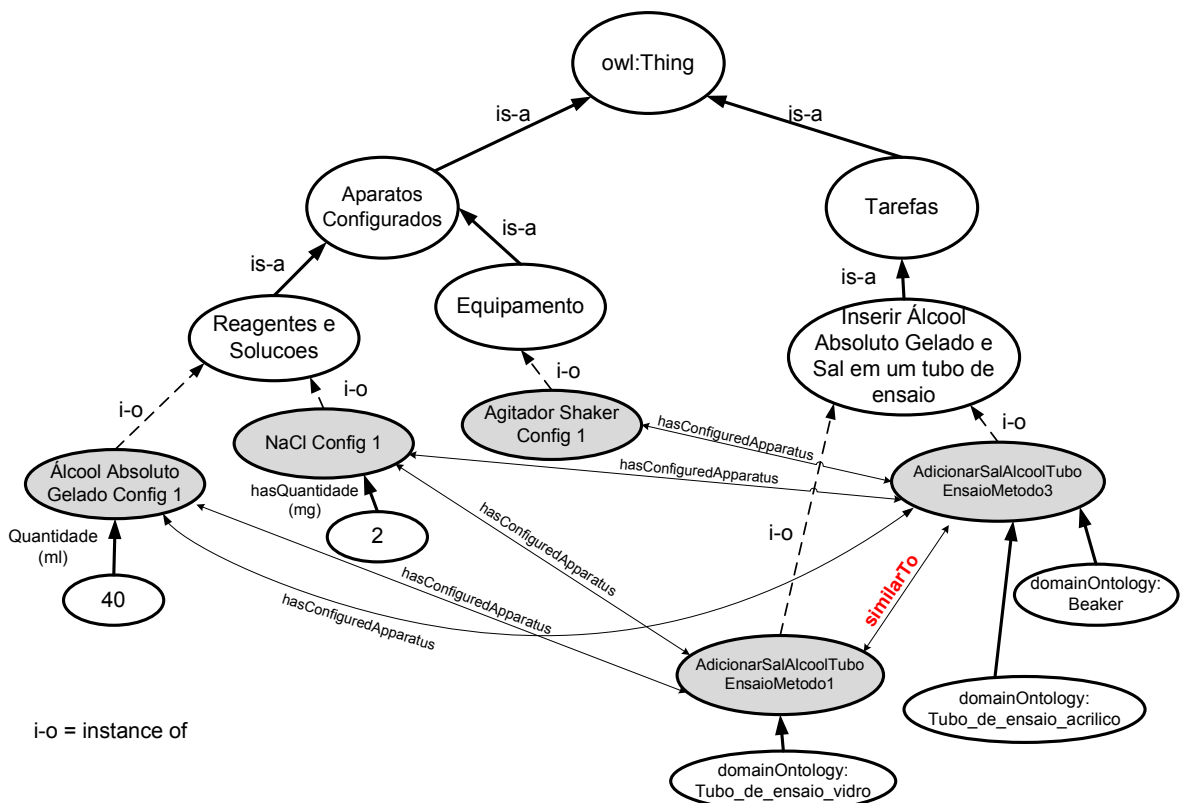


Figura 21 - Trecho da ontologia de aplicação de extração de DNA

5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo de caso foi realizado com o propósito de ilustrar a aplicação dos métodos providos pelo *framework* WPF e conseqüentemente validar o processo WOntoVLab. A criação do experimento “Extração de DNA” com o auxílio de uma especialista de domínio permitiu utilizar o WPF em uma situação prática e real. Por meio de inferências sobre a ontologia de domínio foi possível representar semanticamente os aparatos utilizados nos experimentos, além de permitir a validação e recomendação de aparatos similares. Ontologias de aplicação permitiram representar semanticamente as diversas formas de execução de uma mesma tarefa, possibilitando validar a execução de protocolos alternativos. O uso de *workflows*, através da linguagem XPDL permitiu representar formalmente os protocolos que compõem os experimentos. Seu uso em conjunto com as ontologias de domínio e aplicação permitiu avaliar os experimentos executados, mesmo que por meio de protocolos diferentes do proposto inicialmente.

6 CONCLUSÕES






Neste capítulo são introduzidas as conclusões. Na seção 6.1 são citados os resultados alcançados com esta pesquisa. Na seção 6.2 as contribuições. Na seção 6.3 as publicações realizadas durante o desenvolvimento deste trabalho. Na seção 6.4 os trabalhos que podem ser realizados futuramente para aprimorar esta dissertação.

6.1 RESULTADOS ALCANÇADOS

Neste trabalho foi definido o processo WOntoVLab para laboratórios virtuais, que oferece suporte a autoria, execução e avaliação de experimentos. A utilização de tecnologia de representação de *workflows* no seu processo permite modelar experimentos que exijam o cumprimento de protocolos. Além disso, a utilização de ontologias de domínio e aplicação possibilita representar semanticamente os aparatos e tarefas que compõem os experimentos. Por meio de inferências nas ontologias, é possível recomendar aparatos aos projetistas dos experimentos, além de permitir a execução de protocolos similares ao proposto em sua criação. Outra importante característica do processo WOntoVLab é a possibilidade de aplicá-lo em diferentes domínios, exigindo para isso a utilização de ontologias de domínio e aplicação adequadas.

Através do processo WOntoVLab são transpostos os desafios enfrentados no desenvolvimento de laboratórios virtuais, descritos na Listagem 2. Na Listagem 10 é possível recordar e verificar os desafios transpostos.

DESAFIOS

-  Permitir que experimentos sejam criados conforme as necessidades dos projetistas
-  Possibilitar a criação de protocolos (roteiro)
-  Realizar recomendações (representação semântica dos aparatos)
-  Explorar a criatividade dos usuários, permitindo a execução de passos não previstos no protocolo (protocolos alternativos)
-  Avaliar o desempenho dos usuários

Através do *framework* WPF foi possível realizar um estudo de caso direcionado à criação de um protótipo de um laboratório virtual onde foi construído e executado o experimento “Extração de DNA”. Este estudo de caso demonstrou não só a eficácia do WPF, mas também a eficácia do processo WOntoVLab.

A recomendação de aparatos similares, a representação semântica dos protocolos dos experimentos e a possibilidade de permitir a execução de protocolos alternativos transpuseram satisfatoriamente os desafios detectados nos trabalhos apresentados na seção 2.1.2. A criação do WPF como *web service*, permitiu maior abrangência e acessibilidade aos usuários que desejam desenvolver laboratórios virtuais através do processo WOntoVLab, uma vez que há uma forte tendência em se disponibilizar laboratórios virtuais para acesso via *Web*.

6.2 CONTRIBUIÇÕES

Após uma análise detalhada dos laboratórios virtuais citados na seção 2.1.2, foram detectadas suas principais deficiências, sendo averiguada a necessidade de se criar um processo para autoria de laboratórios virtuais que suprisse essas deficiências. Em seguida foi delineado e definido o processo WOntoVLab, sendo este a primeira contribuição deste trabalho. As seguintes características são providas pelo processo WOntoVLab:

- Permite criar experimentos representados por protocolos de execução;
- Permite representar semanticamente os aparatos do laboratório;
- Possibilita recomendação de aparatos similares aos utilizados;
- Exige que os aprendizes executem experimentos com base em um protocolo pré-estipulado por um projetista;
- Representa formalmente os protocolos dos experimentos, de forma a possibilitar e facilitar suas avaliações;
- Permite avaliar e validar a execução de experimentos que sigam protocolos similares ao proposto, mesmo que este não tenha sido previsto pelo projetista, mas que obtenha um mesmo resultado;
- Persiste os dados da execução dos experimentos para que, em trabalhos futuros, sejam utilizados como uma base de conhecimento que permita auxiliar novas avaliações;

- Provê um processo para autoria de laboratórios virtuais que seja funcional em diferentes domínios;

Além do processo WOntoVLab, também são identificados como contribuições neste trabalho o *framework* WPF e o WPF-WS.

Além das contribuições citadas, este trabalho se enquadra em um dos grandes desafios da pesquisa em computação no Brasil, proposto pela SBC (MEDEIROS, 2008): “Modelagem computacional de sistemas complexos artificiais, naturais e socioculturais e da interação homem-natureza” que objetiva a modelagem e simulação computacionais, conduzindo à redução de custos através da execução de experimentos virtuais. Neste sentido, este trabalho contribui para o avanço do estado da arte no domínio de um dos grandes desafios da pesquisa em computação no Brasil.

6.3 PRODUÇÃO CIENTÍFICA

Do ponto de vista da produção científica oriunda desta dissertação, foram publicados 3 trabalhos, sendo um deles em evento internacional, listados a seguir:

CUGLER, D. C.; YAGUINUMA, C. A.; SANTOS, M. T. P. WOntoVLab: a virtual laboratory authorship process based on workflow and ontologies. In: THE 10th IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED LEARNING TECHNOLOGIES (ICALT), 2010, Sousse/Tunisia. **Proceedings...** 2010.

CUGLER, D. C. et al. OntoVLab: uma arquitetura para laboratórios virtuais baseada em ontologias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE BANCO DE DADOS (SBBDD) - VIII WORKSHOP DE TESES E DISSERTAÇÕES EM BANCO DE DADOS, 2009, Fortaleza/Brasil. **Proceedings...** 2009.

CUGLER, D. C.; YAGUINUMA, C. A.; SANTOS, M. T. P. WOntoVLab: uma arquitetura para laboratórios virtuais baseada em workflows e ontologias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE). Short paper, 2009, Florianópolis/Brasil. **Proceedings...** 2009.

O arcabouço geral da pesquisa desta dissertação foi publicado em (CUGLER; YAGUINUMA; SANTOS, 2010). Este trabalho inclui uma visão geral do processo WOntoVLab, da implementação do protótipo e do estudo de caso. Os primeiros resultados dessa dissertação foram publicados em (CUGLER et al., 2009).

Do ponto de vista de trabalhos em regime de colaboração, foi publicado um artigo onde houve colaboração em aspectos importantes relacionados a protocolos de experimentos voltados para ensino à distância:

MELO, H. V. F.; CUGLER, D. C.; TEIXEIRA, C. A. C. WebLab: Um modelo para especificação e validação de pré-configurações. In: WEBMEDIA - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS MULTIMÍDIA E WEB, 2009, Fortaleza/Brasil. **Proceedings...** 2009.

6.4 TRABALHOS FUTUROS

Pretende-se dar continuidade ao trabalho desenvolvido considerando os seguintes aspectos:

- Aprimorar a etapa de avaliação do processo WOntoVLab através da utilização de redes de Petri para representar *workflows*. Desta forma, é possível basear-se em propriedades matemáticas para auxiliar e refinar a comparação dos *workflows* de autoria e execução;
- Reconhecer os padrões de *workflow parallel split*, *synchronization*, *exclusive choice* e *simple merge*, além do padrão *sequence* que já é tratado no *WOntoVLab Process Framework*;
- Aprimorar o framework desenvolvido para avaliar experimentos executados com números de passos diferentes dos propostos no *workflow* de autoria;
- Realimentar as ontologias com informações referentes às execuções realizadas pelos aprendizes que não estão representadas nas ontologias e que foram validadas pelo projetista;
- Empregar sistemas de recomendação na etapa de autoria do experimento;
- Verificar a possibilidade de analisar a similaridade de protocolos alternativos;
- Incluir um *módulo de apresentação* no laboratório virtual desenvolvido;
- Por fim, pretende-se avaliar o processo WOntoVLab em outros domínios, tais como laboratórios virtuais de química e física.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APACHE SOFTWARE FOUNDATION. **AXIS2**. Disponível em: <http://ws.apache.org/axis2/>. Acesso em: 01/2010.

_____. **Tomcat**. Disponível em: <http://tomcat.apache.org/>. Acesso em: 01/2010.

ARAUJO, V.; EDELWEISS, N. Workflow de autoria de cursos para educação à distância com suporte à cooperação. **Revista Brasileira de Informática na Educação (RBIE)**, v. 13, n. 2, p. 9-20, maio, 2005.

BELLOUM, A. S. Z. et al. VLAM-G: a grid-based virtual laboratory. **Future Generation Computer Systems**, v. 19, n. 2, p. 209-217, Feb., 2003.

BERNERS-LEE, T.; HENDLER, J.; LASSILA, O. The semantic web. **Scientific American Magazine**, v. 284, n. 5, p. 34-43, May, 2001.

BIAJIZ, M. **Laboratório virtual baseado em ontologias**. 1ª fase de projeto PIPE/FAPESP - 07/51636-1, 2008, p. 1-20. Disponível em: <http://www.bv.fapesp.br/projetos-pipe/1031/laboratorio-virtual-biologia-molecular/>. Acesso em: 01/2010.

BLAZQUEZ, J. P. et al. Virtual Laboratory ontology for engineering education. In: 38th FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE (FIE), 2008, Saratoga Springs, NY **Proceedings**. 2008. p. S2F-1-S2F-6. Disponível em: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4720470. Acesso em: 01/2010.

BREAKEY, K. M. et al. Genetics education. **Genetics**, v. 179, p. 1151-1155, 2008.

CAMARGO, P. A escola que não pára em pé. **Revista Educação**, v. 139, p. 40-46, nov., 2008.

CARROLL, J. J. et al. Jena: implementing the semantic web recommendations. In: INTERNATIONAL WORLD WIDE WEB CONFERENCE, 13, 2004, New York, NY, USA. **Proceedings**. New York: 2004. p. 74-83.

CESARINI, M.; MONGA, M.; TEDESCO, R. Carrying on the e-learning process with a workflow management engine. In: ACM SYMPOSIUM ON APPLIED COMPUTING (SAC), 2004, New York, NY, USA. **Proceedings**. ACM, 2004. p. 940-945.

CHANDRASEKARAN, B.; JOSEPHSON, J. R. What are ontologies and why do we need them? **IEEE Intelligent Systems**, v. 14, n. 1, p. 20-26, Jan/Feb, 1999. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/selected.jsp?imageField.x=96&imageField.y=8&imageField=View+Selected+Items&chklst=747902%40ieeejrns>. Acesso em: 01/2010.

CUGLER, D. C. et al. OntoVLab: uma arquitetura para laboratórios virtuais baseada em ontologias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE BANCO DE DADOS (SBBDD) - VIII WORKSHOP DE TESES E DISSERTAÇÕES EM BANCO DE DADOS, 2009, Fortaleza/Brasil. **Proceedings**. 2009.

CUGLER, D. C.; YAGUINUMA, C. A.; SANTOS, M. T. P. WOntoVLab: a virtual laboratory authorship process based on workflow and ontologies. In: THE 10th IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED LEARNING TECHNOLOGIES (ICALT), 2010, Sousse/Tunisia. **Proceedings**. 2010.

DOBRZANSKI, L. A.; HONYSZ, R. Materials science virtual laboratory as an example of the computer aid in materials engineering. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, v. 24, n. 2, p. 219-222, 2007.

DUARTE, M. et al. An intelligent universal virtual laboratory (UVL). **IEEE Transactions on Education**, v. 51, n. 1, p. 2-9, Feb, 2008. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4358718>. Acesso em: 01/2010.

FAPESP. **TIDIA-AE**. Disponível em: <<http://tidia-ae.incubadora.fapesp.br>>. Acesso em: 05/2009.

FENSEL, D. et al. OIL: an Ontology Infrastructure for the Semantic Web. **IEEE Intelligent Systems**, v. 16, n. 2, p. 38-45, Mar/Apr, 2001. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=920598>. Acesso em: 01/2010.

GAMMA, E. et al. **Design patterns: elements of reusable object-oriented software**. Addison-Wesley 1995. 396 p.

GERVASI, O. et al. VMSLab-G: a virtual laboratory prototype for molecular science on the Grid. **Future Generation Computer Systems**, v. 20, n. 5, p. 717-726, June, 2004.

GRANADO, E. et al. A web-based virtual laboratory for teaching automatic control. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 15, n. 2, p. 192, 2007.

GRUBER, T. Ontology. In: LIU, L.; OZSU, M. T. (Ed.). **Encyclopedia of Database Systems**. Springer US, 2009. p. 1963-1965.

GRUBER, T. R. A translation approach to portable ontology specifications. **Knowledge Acquisition. Academic Press**, v. 5, n. 2, p. 199-220, 1993.

GUARINO, N. Understanding, building and using ontologies. **International Journal of Human Computer Studies**, v. 46, n. 2, p. 293-310, 1997.

_____. Formal Ontology and Information Systems. In: FORMAL ONTOLOGY AND INFORMATION SYSTEMS (FOIS), 1998, Trento, Italy. **Proceedings**. IOS Press, 1998. p. 3-15.

LUTTICKE, R.; GNORLICH, C.; HELBIG, H. VILAB - A virtual electronic laboratory for applied computer science. In: CONFERENCE NETWORKED LEARNING IN A GLOBAL ENVIRONMENT, 2002, Canada/The Netherlands. **Proceedings**. ICSC Academic Press, 2002. p. 135-140.

MEDEIROS, C. M. B. Grand Research Challenges in Computer Science in Brazil. **Computer** v. 41, n. 6, p. 59-65, 2008.

MELO, H. V. F.; CUGLER, D. C.; TEIXEIRA, C. A. C. WebLab: Um modelo para especificação e validação de pré-configurações. In: WEBMEDIA - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS MULTIMÍDIA E WEB, 2009, Fortaleza/Brasil. **Proceedings**. 2009.

MOODLE. Disponível em: <<http://www.moodle.org/>>. Acesso em: 01/2010.

NEDIC, Z.; MACHOTKA, J.; NAFALSKI, A. Remote laboratories versus virtual and real laboratories. In: 33th FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE (FIE), 2003, **Proceedings**. 2003. p. T3E-1-T3E-6 Vol.1.

PONGPECH, A.; SADIQ, S. W.; ORLOWSKA, M. E. On using workflow technology to model eLearning process. In: 8th IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED LEARNING TECHNOLOGIES (ICALT), 2008, **Proceedings**. 2008. p. 682-684.

SAKAI. Disponível em: <<http://sakaiproject.org/>>. Acesso em: 01/2010.

SIEVERS, F. J.; GERMANO, J. S. E.; ALMEIDA, F. A. A utilização do ambiente weblab no ensino médio para fomentar a proposta curricular do ensino de física. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO A ENGENHARIA, 2008, **Proceedings**. 2008. p. 98-113.

SMITH, M. K.; WELTY, C.; MCGUINNESS, D. L. **W3C Recommendation: OWL Web Ontology Language Guide**. 2004. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-guide-20040210/>>. Acesso em: 01/2010.

STEIN, D. S.; WANSTREET, C. E. Role of social presence, choice of online or face-to-face group format, and satisfaction with perceived knowledge gained in a distance learning environment. In: 22nd THE MIDWEST RESEARCH-TO-PRACTICE CONFERENCE IN ADULT, CONTINUING, AND COMMUNITY EDUCATION, 2003, **Proceedings**. 2003. p. 193-198.

SUN. **Java**. Disponível em: <<http://www.sun.com/>>. Acesso em: 01/2010.

SWARTOUT, W. Ontologies. **IEEE Intelligent Systems**, v. 14, n. 1, p. 18-19, Jan/Feb, 1999. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/search/srchabstract.jsp?arnumber=747901&isnumber=16144&publisher=5254&k2dockey=747901@ieejejrns&query=&pos=0>>. Acesso em: 01/2010.

USCHOLD, M.; GRUNINGER, M. Ontologies and semantics for seamless connectivity. **ACM SIGMOD Record**, v. 33, n. 4, p. 58-64, Dec, 2004. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1041410.1041420&coll=GUIDE&dl=GUIDE&CFID=14220674&CFTOKEN=85846177>>. Acesso em: 01/2010.

VALERA, A. et al. Virtual and remote control laboratory development. **IEEE Control Systems Magazine**, v. 25, n. 1, p. 35-39, 2005. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1388798>. Acesso em: 01/2010.

VAN DER AALST, W. M. P. et al. Workflow patterns. In: (Ed.). **Distributed and parallel databases**. Hingham, MA, USA: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 5-51. v. 14).

WORKFLOW MANAGEMENT COALITION. . Disponível em: <<http://www.wfmc.org/>>. Acesso em: 01/2010.

_____. **XPDL - XML Process Definition Language.** Disponível em: <<http://www.wfmc.org/xpdl.html>>. Acesso em: 08/2009.