MSSearch: Busca Semântica de Objetos de Aprendizagem OBAA com Suporte a Alinhamento Automático de Ontologias

Luiz Rodrigo Jardim da Silva[1], João Carlos Gluz[1]

[1] Programa Interdisciplinar de Pós Graduação em Computação Aplicada (PIPCA) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) - Caixa Postal275 - 93.022-000 - São Leopoldo - RS - Brasil

rodjle@gmail.com, jcgluz@unisinos.br

Abstract. *Semantics heterogeneity problems are becoming an important field of research. Within the educational context, researchers have focused on developing new technologies to improve the processes of localization, retrieval, cataloging, and reuse of learning objects. This scenario highlights the use of ontology alignment techniques to provide integration between different ontologies. Therefore, the goal of the present work is to develop a tool that provides mechanisms for semantic search of learning objects, with support for aligning ontologies.*

Resumo. *Problemas relacionados à heterogeneidade semântica vêm se mostrando atualmente como um importante campo de pesquisa. Dentro do contexto educacional, pesquisadores têm se dedicado ao desenvolvimento de novas tecnologias que visam melhorar os processos de localização, recuperação, catalogação, e reutilização de objetos de aprendizagem. Baseado neste cenário, destaca-se o uso de técnicas de alinhamento de ontologias para prover integração entre ontologias distintas. Assim o objetivo deste trabalho é desenvolver uma ferramenta que forneça mecanismos de busca semântica de objetos de aprendizagem com suporte a alinhamento de ontologias.*

1. Introdução

O Brasil vem atualmente adotando estratégias para ampliar a disseminação do conhecimento entre as escolas, através da disponibilização de ferramentas que possam auxiliar alunos e professores no processo de aprendizagem. Dentre as ferramentas disponíveis pode-se destacar o Banco Internacional de Objetos de Aprendizagem (BIOE), onde estão armazenados OAs (Objetos de Aprendizagem) em diversos formatos (áudio, vídeos, imagens, etc).

A catalogação de OAs por meio de padrões de metadados contrasta com a grande parte das informações encontradas na Web (*World Wide Web*), pois estas estão armazenadas sem nenhum critério ou padrão de organização, tendo como objetivo principal a leitura e interpretação feitas por humanos. Devido ao armazenamento desestruturado dessas informações, a tarefa de busca e recuperação por meio de mecanismos inteligentes automatizados torna-se ineficiente em muitos casos. Com intuito

de dar mais significado às informações, Berners-Lee, Hendler e Lassila (2001) propuseram uma extensão da Web, denominada de Web Semântica, onde a informação deve possuir um significado claro e bem definido, possibilitando a interação entre pessoas e máquinas.

Desde essa proposta inicial, vários aspectos da Web Semântica tem apresentado uma grande evolução. Em particular, a especificação dos significados (a semântica) dos elementos que compõe os documentos da Web tem se centrado fortemente no uso de ontologias, com a definição e adoção da linguagem OWL pelo W3C para a especificar as ontologias da Web Semântica. Porém, um dos principais desafios atuais da Web Semântica é prover mecanismos que permitam integrar ontologias heterogêneas, não só de domínios de conhecimentos distintos, mas até do mesmo domínio. Ontologias pertencentes ao mesmo domínio podem, muitas vezes, ser escritas através de vocabulários distintos, dificultando a interoperabilidade entre elas, bem como a implementação de ferramentas de busca dentro do contexto da Web Semântica. O *alinhamento de ontologias* [OAEI 2012], vem sendo discutido amplamente como uma alternativa possível para o tratamento do problema de integração de ontologias heterogêneas. Essa é, entretanto, uma importante questão de pesquisa em aberto, porque a complexidade das tarefas de alinhamento exige que as técnicas, algoritmos e ferramentas empregadas neste alinhamento, estejam preparadas para lidar com ontologias provenientes de diversas fontes.

De maneira geral, as ferramentas atuais de alinhamento de ontologias não estão otimizadas para responder aos requisitos de tempo que os sistemas atuais apresentam. O tempo disponível para a execução é um fator determinante para a eficiência do processo de alinhamento. Portanto, para que seja possível atingir uma boa reposta de tempo de execução, muitas vezes é necessário aumentar a capacidade computacional, através do aumento da memória principal, largura de banda e CPU [Shvaiko e Euzenat 2011]. Dentro do processo de alinhamento, o uso de heurísticas pode ser considerado como uma alternativa para se chegar a resultados próximos do ideal, fornecendo subsídios para que algoritmos encontrem "atalhos" dentro do processo para se chegar a um resultado qualificado em um tempo aceitável.

Assim o problema de pesquisa do presente trabalho é verificar como mecanismos de alinhamento de ontologias, especializada para domínios educacionais podem tornar o processo de busca semântica mais abrangente entre os domínios de conhecimento, possibilitando a apresentação de resultados mais significativos. Esta verificação se dará através do desenvolvimento de uma ferramenta que seja capaz de prover alinhamento automático de ontologias padrão OBAA[1] com ontologias inseridas dentro do contexto educacional para recuperação semântica de OAs.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 destina-se a apresentação do problema relacionado a heterogeneidade semântica. As técnicas de alinhamento de ontologias são mostradas na Seção 3. Os trabalhos relacionados serão apresentados na Seção 4. O processo de alinhamento de ontologias proposto é mostrado na Seção 5. Na Seção 6, a arquitetura da ferramenta é detalhada. Por fim, as conclusões finais deste trabalho são apresentadas na Seção 7.

[1] Padrão de metadados baseados em agentes inteligentes (http://www.portalobaa.org).

2. Heterogeneidade Semântica

Segundo [Ehrig 2007], com a expansão das bases de dados de conhecimento, os sistemas computacionais precisam estar cada vez mais preparados para lidar com informações que se encontram armazenadas de forma heterogêneas e distribuídas. Sendo assim, um dos grandes desafios da Web Semântica é encontrar mecanismos para que essas fontes sejam integradas (alinhadas), não só sintaticamente, mas também semanticamente. A Figura 1 ilustra o problema da heterogeneidade semântica.

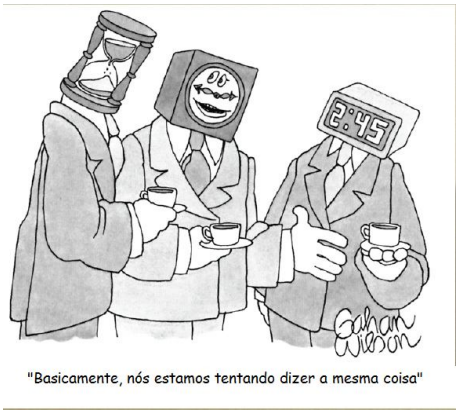

Figura 1: Heterogeneidade Semântica Adaptado(fonte:[Noy 2012])

Ainda segundo [Goh 1997], o problema relacionado ao conflito semântico pode ser classificado da seguinte maneira:

- *Conflito de nomes:* ocorre quando o valor de um atributo difere significativamente, e pode ser caracterizado pela presença de sinônimos e homônimos. O uso de padronizações e tabelas de mapeamentos podem ajudar a atenuar este problema;
- *Conflitos de escalas e unidades*: geralmente é ocasionado por adoção de escalas de medidas distintas. Sistemas que medem valores precisam tratar desse problema constantemente;
- *Conflitos de confusão*: por motivos temporais, mesmo que a informação tenha o mesmo significado, pode ser interpretada de forma errada;

O alinhamento de ontologias tem sido proposto como uma alternativa para prover interoperabilidade semântica, através da integração de ontologias escritas em vocabulários distintos, sendo que atualmente existe um grande esforço de comunidades de pesquisadores no desenvolvimento de novas técnicas de alinhamento.

3. Alinhamento de Ontologias

O uso de ontologias possibilita que o conhecimento seja formalizado de tal maneira a permitir que máquinas interajam com humanos, por meio de sistemas inteligentes.

Uma ontologia fornece um vocabulário que descreve um domínio de uma determinada área do conhecimento, sendo que estes vocabulários por vezes podem ser especificados de diferentes maneiras.

Quando ontologias distintas precisam interoperar, alguns problemas de compatibilidade semântica podem gerar resultados imprevisíveis, ambíguos ou incompletos, contrapondo-se ao propósito da Web Semântica.

Para [Euzenat 2007], o termo *Alinhamento* é definido como o resultado do processo que tem a finalidade de encontrar correspondências entre entidades semanticamente relacionadas, criando um conjunto de relações entre ontologias distintas. Este processo (Figura 2) é denominado *"Ontology Matching"* (Correspondências de Ontologias).

Conforme ilustrado na Figura 2, dado um par de ontologias O1 e O2, a tarefa de *Matching* (correspondências) é encontrar um alinhamento (A') entre essas ontologias. Um alinhamento de entrada (A) pode ser fornecido para auxiliar no processo. É possível ainda definir pesos ou limiares como parâmetros, bem como o uso de recursos externos(Tesauros).

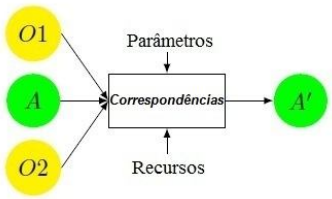

Figura 2: Processo de Alinhamento Adaptado(fonte:[Shvaiko e Euzenat 2011])

Uma função de alinhamento de ontologias *align*, é uma função parcial que parte do conjunto E de todas as possíveis entidades pertencentes as ontologias que se pretende alinhar e de um par de ontologias O_1, O_2 resultando nos elementos de E que estão devidamente alinhados às ontologias O_1 e O_2 [Ehrig 2007]. Assumindo O como o conjunto das ontologias que se pretende alinhar, o tipo de *align* é:

$$align: E \times O \times O \rightarrow E$$

Sendo assim, para um dado elemento e do conjunto E e para duas ontologias O_1 e O_2, temos $align(e,O_1,O_2)$ com o elemento de E correspondente a e que está alinhado entre O_1 e O_2 (caso O_1 e O_2 estejam subentendidas, pode-se usar simplesmente $align(e)$ para denotar esse elemento). Assim, caso exista um alinhamento parcial entre duas ontologias O_1 e O_2, dizemos que uma entidade e está alinhada com a entidade f quando $align(e)=f$.

Todo processo de alinhamento parte de pares de entidades (e,f), denominado de alinhamentos candidatos, sendo posteriormente necessário a realização de processos de verificação para consolidação do processo de alinhamento.

Segundo [Ehrig 2007], o processo de alinhamento de ontologias pode ser realizado de três maneiras distintas:

- Manualmente: neste caso o próprio usuário realiza o alinhamento entre as ontologias, geralmente com apoio de ferramentas gráficas;
- Semi-Automático: o usuário participa em determinadas etapas do processo de alinhamento, porém conta com auxílio de algoritmos que

podem realizar pré-alinhamentos, intervindo somente em algumas etapas no processo de tomada de decisão;

- Automático:todo o processo é realizado sem intervenção humana, apoiado por algoritmos inteligentes e técnicas de alinhamento sofisticadas;

Dependendo da quantidade de elementos existentes nas ontologias, que se deseja integrar, torna-se humanamente impossível realizar o procedimento de alinhamento manual [Ehrig 2007].

3.1. Técnicas e Métricas de Similaridades

É possível encontrar na literatura atual diversas técnicas e metodologias para identificação de similaridades entre ontologias. Para [Ehrig 2007], similaridade de ontologias refere-se à comparação de um conjunto de ontologias e seus subelementos, sendo que esta comparação é realizada com base na utilização de funções que retornam um valor numérico indicando o grau de semelhança entre seus elementos. Esta função é expressa como:

$$sim: \mathcal{B}(E) \times \mathcal{B}(E) \times O_1 \times O_2 \rightarrow [0, 1]$$

onde $\mathcal{B}$(E) representa o conjuntos de entidades e O_1, O_2, as ontologias correspondentes.

Conforme [Euzenat 2007], é possível definir algumas técnicas básicas de similaridade dentro do processo de alinhamento de ontologias, sendo elas:

- *Técnicas Terminológicas*: baseiam-se nos textos encontrados dentro das ontologias para identificar suas entidades. Geralmente são originárias de técnicas de processamento de linguagem natural e recuperação de informação, podendo ser: comparação de estruturas de *strings*, distância de *strings*, medidas estatísticas com base em frequência e ocorrência de termos;
- *Técnicas Estruturais*: essas técnicas verificam as relações entre as entidades das ontologias a serem alinhadas, sendo que estas relações podem ser entre suas entidades e seus atributos, incluindo restrições de valores;
- *Técnicas Extensionais*: comparam a extensão de entidades, com base nas suas instâncias. Dependendo das ontologias, suas respectivas classes são diferentemente rotuladas, porem o uso dessas técnicas pode deduzir uma relação a partir de seus indivíduos;
- *Técnicas Semânticas*: leva-se em consideração a interpretação semântica, utilizando métodos dedutivos para se encontrar alinhamento ou para detectar conflitos;

Muitas técnicas podem ser utilizadas de forma conjunta, incremental, de modo a encontrar os melhores resultados de alinhamentos.

3.2. Alignment API

A comunidade OAEI (*Ontology Alignment Evaluation Initiative*), é uma organização que tem como objetivo avaliar métodos e técnicas voltados ao alinhamento e casamento

(*matching*) de ontologias. Para promover a evolução das técnicas de alinhamento de ontologias existentes, a OAEI estabeleceu alguns objetivos, como:

- Avaliar a força e a fraqueza dos sistemas de alinhamentos atuais;
- Comparar o desempenho das técnicas existentes;
- Aumentar a comunicação entre a comunidade de desenvolvedores;
- Melhorar as técnicas de avaliação;

Nos últimos anos inúmeras ferramentas foram submetidas ao processo de avaliação da OAEI, porém muitas delas encontram-se descontinuadas, não sendo possível localizar seus arquivos fontes para *download*, ou são distribuídas comercialmente.

Para este trabalho foi utilizada a API proposta por [David et al. 2012], denominada *Alignment API*, pois a mesma apresenta um conjunto de bibliotecas que auxiliam no processo de alinhamento, é distribuída de forma livre, o projeto encontra-se ativo com atualizações periódicas e recentes, e por fim pode ser facilmente integrada ao sistema proposto, sendo utilizada como ferramenta para auxiliar no processo de avaliação da OAEI.

4. Trabalhos Relacionados

Alinhamento de ontologias é considerado atualmente como um importante mecanismo para realização da integração de bases de dados semânticas heterogêneas, com isso inúmeros trabalhos têm sido desenvolvidos com o objetivo de melhorar este processo, conforme destacado anteriormente. Porém, cada trabalho possui enfoques distintos, onde muitos ainda se concentram no desenvolvimento de algoritmos que otimizem o processo de alinhamento, que muitas vezes pode ser custoso computacionalmente.

Este trabalho caracteriza-se por apresentar uma proposta de otimização no processo de alinhamento, através da definição de um vocabulário de sinônimos anotados em ontologias que se deseja alinhar, utilizando agentes inteligentes para realização automática de alinhamentos de ontologias e posteriormente prover uma interface para realização de busca semântica de OAs. Pesquisas demonstraram que não existem atualmente trabalhos que apresentem uma solução completa como a proposta, porém é possível destacar projetos que de alguma forma se assemelham com presente trabalho, como a ferramenta JAW [Silva et al. 2011], que realiza busca semântica de OAs e utiliza dicionário de sinônimos da Língua Inglesa para realizar consulta em bases semânticas. Já o sistema D-OSWS [Ochs et al. 2011], utiliza mecanismos alinhamento para construir uma ontologia intermediária para realização de buscas de pessoas famosas proveniente do DBpedia(*dbpedia.org*). Por fim, a ferramenta BROAD [Campos et al. 2008] habilita interfaces de serviços baseados na tecnologia RESTful para prover busca semântica de OAs e utiliza mecanismos de inferência.

De acordo com os trabalhos apresentados, é possível concluir que os mesmos contribuem em parte para o problema de busca semântica, sendo muito restrito ao uso de suas próprias ontologias, não levando em consideração questões como interoperabilidade semântica para o compartilhamento de conhecimento, uma das premissas da Web Semântica.

5. Processo de Alinhamento do Sistema MSSearch

Para garantir que o sistema consiga realizar buscas semânticas com maior cobertura de conhecimento é necessário que o mesmo esteja preparado para tratar ontologias distintas. Propõe-se então, conforme destacado anteriormente, o uso de técnicas de alinhamento de ontologias.

O processo de alinhamento de ontologias pode exigir uma grande capacidade computacional para sua realização. Na verdade o caso geral pode se aproximar de uma complexidade $O(n^2)$ em relação ao número de elementos das ontologias envolvidas [Ehrig 2007].

Outra questão relacionada ao processo de alinhamento é o emprego de vocabulários léxicos gerais nas métricas de similaridade terminológicas, que são as técnicas mais disseminadas de comparação dos elementos das ontologias. O serviço aberto e público WordNet (*wordnet.princeton.edu*) possui uma ampla cobertura dos nomes, verbos, adjetivos e advérbios existentes na Língua Inglesa, trazendo bons resultados quando utilizado na função de similaridade. Porém, em termos da Língua Portuguesa não há um serviço aberto e público similar.

Para minimizar esse tipo de problema será necessário empregar heurísticas derivadas da estrutura do domínio de aplicação do sistema de busca semântica. O objetivo geral do sistema é oferecer um repositório de metadados de objetos de aprendizagem com capacidade de busca semântica, em relação aos contextos educacionais.

Como os metadados nesse repositório deverão ser conformes a proposta OBAA, então uma das ontologias a ser alinhadas sempre será a ontologia de metadados OBAA [Gluz e Vicari 2011]. Esta será a ontologia base para o processo de alinhamento. Este alinhamento ocorrerá entre a ontologia de metadados OBAA e ontologias provenientes de outras fontes, sendo que as mesmas devem estar inseridas dentro do contexto educacional.

As ontologias que serão alinhadas com a ontologia de metadados OBAA, serão ontologias relativas aos conteúdos e aplicações educacionais, suportados pela infraestrutura MILOS [Gluz e Vicari 2010]. A ontologia Onto-EduMat definida por [Xavier e Gluz 2010] será utilizada neste trabalho como ontologia a ser alinhada com a ontologia OBAA.

Para tanto, serão definidos requisitos estruturais elementares para que uma ontologia possa ser empregada na MILOS e também possa ser alinhada com a ontologia de metadados OBAA. O principal requisito para possibilitar o alinhamento de uma ontologia de conteúdos ou aplicações educacionais, com a ontologia de metadados OBAA é a necessidade das entidades dessa ontologia, sejam elas classes ou relações, terem seus nomes e sinônimos na Língua Inglesa explicitamente definidos através de anotações da ontologia. No mínimo o nome em inglês deve ser definido através de uma anotação de rótulos (*label*). Outras anotações com sinônimos (*alias*) também podem ser definidas. O mecanismo de anotação de ontologias OWL permite que qualquer elemento de uma ontologia possa ter anotações cuja língua natural tenha sido explicitamente indicada. Na verdade, somente as entidades que se pretende alinhar com a ontologia de metadados OBAA precisam ter ou os seus nomes (identificadores) definidos em Inglês, ou então anotações equivalentes para estes nomes na língua inglesa, os demais elementos não precisam suportar esse requisito.

6. Arquitetura do Sistema de Busca MSSearch

A arquitetura geral do sistema é apresentada na Figura 3. Sua estrutura se divide basicamente em três camadas:

- *Facilidades de Acesso*: Camada responsável pela interação da ferramenta com usuário via página Web, ou com outros sistemas, via Web Services;
- *Camada de Agentes*: Composta por agentes de software, inseridos dentro de uma plataforma, que se comunicam por intermédio do protocolo FIPA(*www.fipa.org*). O Agente *QueryAgent* é responsável pela execução das consultas semânticas no repositório, já o *UpdateAgent* realizará atualização nos metadados armazenados, o *LoadAgent* será encarregado pela tarefa de população de OAs na base de dados ,por fim o agente *AlignAgent* realizará o alinhamento das ontologias;
- *Armazenamento*: Repositório OWL nativo, com possibilidade de se armazenar dados de ontologias distintas em forma de grafos (*Graph Store*);

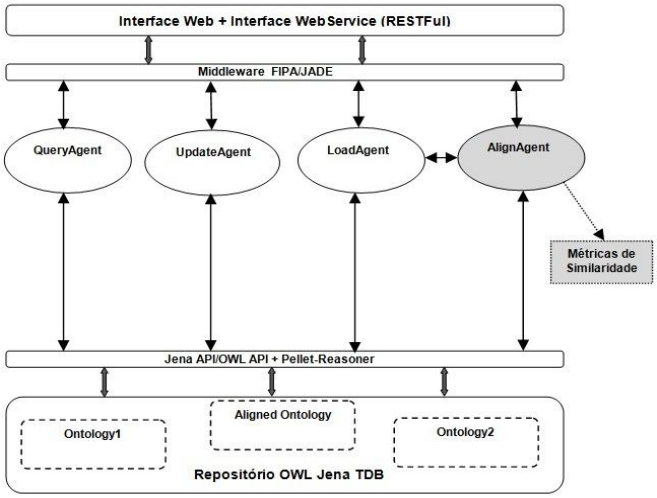

Figura 3: Arquitetura do Sistema MSSearch

6.1. Rotulação e Alinhamento

Uma das premissas do processo de alinhamento de ontologias é que a ontologia a ser alinhada precisa ter suas entidades rotuladas com palavras que possibilitem o alinhamento com a ontologia de metadados OBAA, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1: Rotulamento da Ontologia Onto-EduMat

Ontologia Onto-EduMat	Anotação	Ontologia OBAA
Disciplina.label	*Course*	*General.Keyword*
Disciplina.alias	*Keyword*	
hasDisciplinaNome.label	*hasCourseName*	*General.Title, General.Description*
hasDisciplinaNome.alias	*hasKeyword*	
Item.label	*Item*	
Item.alias	*Title*	

Item.alias	*Description*	
Conteudo.label	*Content*	*General.Description*
Conteudo.alias	*Description*	
Idade.label	*Age*	*Educational.IntededEndUserRole*
Idade.alias	*AgeRange*	*Educational.TypicalAgeRange*

Com a ontologia Onto-EduMat devidamente rotulada, o agente *AlignAgent* quando acionado, poderá executar a tarefa de alinhamento, gerando uma nova ontologia (*Aligned Ontology*), que posteriormente será armazenada no repositório semântico. No quadro 1, pode ser verificado o resultado do alinhamento gerado.

Quadro 1: Alinhamento em formato RDF

```
1. <entity1 rdf:resource= http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/8/OntoEduMat.owl#hasDisciplinaNome'/>
2. <entity2 rdf:resource= http://obaa.unisinos.br/obaa22.owl#itsKeywordIs/>
3. <relation>=</relation>
4. <measure rdf:datatype='http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float'>0.86</measure>
```

Conforme consta no Quadro 1, o alinhamento expresso em formato RDF, indica a correspondência entre as entidades previamente rotuladas. Na linha 1, a entidade "hasDisciplinaNome" é mapeada com a entidade "itsKeywordIs" da linha 2. Na linha 3 o tipo de relação entre as entidades é especificada e na linha 4 o grau de similaridade, onde é possível especificar qual é a limiar mínimo aceito para que uma determinada entidade possui uma correspondência aceitável. No Quadro 2, agora o mesmo alinhamento é apresentado em formato OWL, sendo possível realizar consultas SPARQL(*www.w3.org/TR/rdf-sparql-query*) de OAs anotados semânticamente no padrão de metados OBAA, utilizando o vocabulário da ontologia Onto-EduMat.

Quadro 2: Alinhamento em formato OWL

```
<owl:ObjectProperty rdf:about=" http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/8/OntoEduMat.owl# hasDisciplinaNome">
   <owl:equivalentProperty rdf:resource=" http://obaa.unisinos.br/obaa22.owl#itsKeywordIs"/>
</owl:ObjectProperty>
```

7. Considerações Finais

Neste trabalho foi apresentado um sistema destinado à busca semântica de objetos aprendizagem OBAA com suporte a alinhamento de ontologias. A combinação de tecnologias de agentes inteligentes e de banco de dados semânticos possibilita a construção de um ambiente capaz de suportar o armazenamento e recuperação de OAs anotados semanticamente. Já o uso de técnicas de alinhamento de ontologias fornece meios para que ontologias interajam entre si, aumentando o seu poder da busca.

Percebe-se no decorrer do desenvolvimento desta pesquisa, que as técnicas relativas a alinhamento de ontologias encontram-se em um estágio inicial, e muito ainda precisa ser evoluído, pois devido a sua complexidade, esta tarefa pode exigir muito poder computacional, o que a torna muitas vezes inviável em um ambiente real. Portanto, espera-se que este trabalho contribua para a otimização do processo de alinhamento, possibilitando que haja uma maior interoperabilidade entre ontologias distintas e permitindo a recuperação semântica de OAs.

8. Agradecimentos

Os Autores agradecem ao MCT/FINEP/MC/FUNTEL, CAPES e ao CNPQ por financiarem esta pesquisa.

Referências

Berners-Lee, T., Hendler, J. e Lassila, O., (2001) "The SemanticWeb", Issue of Scientific American, Maio.

BIOE (2012) "Banco Internacional de Objetos Educacionais", Normas para a definição dos metadados, http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/retrievefile/normas, Abril.

Campos, F., et al (2011). BROAD: Busca Semântica por Objetos de Aprendizagem. VIII Congresso Brasileiro de Ensino Superior a Distância, Ouro Preto.

David, J., Euzenat, J., Scharffe, F. e Santos, C., T. (2012) The Alignment API 4.01 http://www.semantic-web-journal.net/content/new-submission-alignment-api-40, M.

Ehrig, M. (2012) Ontology alignment: bridging the semantic gap. Springer, Germany.

Euzenat, J. (2007) Introduction to ontology matching and alignment (first M2R lecture notes). France.

Gluz, J., C. e Vicari, R., M. (2010) MILOS: Infraestrutura de Agentes para Suporte a Objetos de Aprendizagem OBAA. Anais do XXI SBIE.

Gluz, J., C. e Vicari, R., M. (2011) Uma Ontologia OWL para Metadados IEEE-LOM, Dublin-Core e OBAA . Anais do XXII SBIE.

Goh, C., H. (1997) Representing and Reasoning about Semantic Conflicts in Heterogeneous Information Sources. Phd Thesis (Philosophy Course), MIT.

Noy, N. (2012) Ontology Mapping and Alignment, http://disi.unitn.it/~accord/RelatedWork/Matching/Noy-MappingAlignment-SSSW-05.pdf . Maio.

OAEI (2012), Ontology Alignment Evaluation Initiative, http://oaei.ontologymatching.org/, Maio.

Ochs, C., et al. (2011) Google Knows Who Is Famous Today - Building an Ontology From Search Engine Knowledge and DBpedia. Fifth IEEE International Conference on Semantic Computing.

Shvaiko, P. e Euzenat, J. (2011) "Ontology matching:state of the art and future challenges", Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions.

Souza, A., et al (2008) Recuperação Semântica de Objetos de Aprendizagem: Uma Abordagem Baseada em Tesauros de Propósito Genérico. SBIE.

Xavier, A., C. (2010) AutoEduMat: Ferramenta de Apoio a Autoria de Metadados de Objetos de Aprendizagem para o Domínio de Ensino de Matemática. Dissertação de Mestrado. Universidade do Vale do Rio dos Sinos.