

Estendendo e reutilizando ontologias com OntoGuide: Uma Abordagem Sistemática para Organização de Descritores

Linair Maria Campos, Paulo F. Pires, Maria Luiza M. Campos
Universidade Federal do Rio de Janeiro - Departamento de Ciência da Computação
Núcleo de Computação Eletrônica
Bloco C – Cidade Universitária – Ilha do Fundão – Rio de Janeiro – RJ – Brasil
ZIP 20.001-970 – P.O. BOX 2324
e-mail: linairmc@posgrad.nce.ufrj.br, [[mluiza](mailto:mluiza@nce.ufrj.br), [paulopires](mailto:paulopires@nce.ufrj.br)][@nce.ufrj.br](mailto:mluiza@nce.ufrj.br)

Resumo

Com o amadurecimento da Web semântica e o crescimento das iniciativas de construção de ontologias, a questão da organização e documentação desses vocabulários se torna de grande relevância, dada a complexidade de seus descritores. Várias abordagens têm sido propostas visando construir ou estender ontologias, muitas delas permitindo incorporar ou referenciar outras ontologias. Essas abordagens, no entanto, não fornecem uma orientação adequada de como os descritores criados devem ser organizados. Como resultado, tem-se ontologias não uniformes, criadas sem que se conheçam os métodos adotados para a sua construção. O objetivo do presente trabalho é apresentar uma abordagem sistemática para elaboração ou extensão de descritores de uma ontologia básica, partindo-se da aplicação de um conjunto de diretrizes de descrição, obtidas com base na análise de experiências da área da Ciência da Informação. Para avaliar a utilidade dessa abordagem, desenvolvemos uma ferramenta de software, chamada OntoGuide, baseada nas diretrizes de descrição propostas, e mostramos de que forma a abordagem sistemática apoiada pela ferramenta contribui para a criação de vocabulários mais precisos e bem documentados.

1. Introdução

Com o amadurecimento da Web semântica e o crescimento das iniciativas de construção de ontologias, a questão da organização e documentação desses vocabulários se torna de grande relevância, dada a complexidade de seus descritores. Várias abordagens têm sido propostas visando construir ou estender ontologias, muitas delas permitindo incorporar ou referenciar outras ontologias. Essas abordagens, no entanto, não fornecem uma orientação adequada de como os descritores criados devem ser organizados.

O objetivo desse trabalho é a apresentação de um conjunto de diretrizes para a descrição de um domínio que forneça uma orientação sistemática sobre como proceder para elaborar e estender a descrição de seus objetos.

Nesse sentido, a motivação para adotar uma abordagem sistemática parte da necessidade de se dar apoio a pesquisas precisas para um domínio. Nesse sentido não buscamos responder a perguntas simples do tipo: “quais os serviços Web fornecidos pela Microsoft que pertencem à área de comércio eletrônico”. Buscamos respostas para perguntas que envolvem aspectos diversos, tais como: “quais os serviços Web de Bioinformática que fazem comparação de sequência de nucleotídeos em bancos de dados genômicos, utilizando o algoritmo Blast, gratuitos, com desempenho médio de 1.0 ms, que utilizem o banco de dados GenBank, disponíveis hoje, domingo, e que retornem a resposta no formato XML”.

Como podemos observar, o escopo dos descritores a considerar é amplo e complexo. Eles precisam ser organizados, de forma que a busca possa ser encarada sob diversas perspectivas: tempo, espaço, qualidade, entidades envolvidas, recursos utilizados, dentre outros.

O conjunto de diretrizes proposto nesse trabalho tem como objetivo auxiliar na organização desses descritores e foi obtido a partir do estudo detalhado das características dos serviços Web [1] e do uso de uma técnica de categorização, utilizada na área da Ciência da

Informação. Como resultado adicional do estudo dos serviços, obtivemos um grupo básico de descritores, que deve ser estendido de acordo com a área de aplicação do serviço. Para apoiar o processo de extensão, desenvolvemos uma ferramenta de software baseada nas diretrizes propostas. Como exemplo de aplicação, buscando evidenciar a utilidade de nossa abordagem, utilizamos essa ferramenta para estender descritores de serviços Web na área de Bioinformática.

O restante desse artigo é estruturado como se segue: na Seção 2 são apresentadas as iniciativas de descrição de serviços Web; na Seção 3 descrevem-se as bases teóricas para a elaboração deste trabalho; na Seção 4 são discutidas as diretrizes propostas para auxiliar o processo de criação ou extensão de descritores de um domínio; na Seção 5 apresenta-se a ferramenta OntoGuide e, por fim, a conclusão e trabalhos futuros são apresentados na Seção 6.

2. Iniciativas de Descrição de Serviços Web

Há várias propostas contemplando de descrição de serviços Web, tais como: WSLA [3], WSOL [4], WSIL [5], OWL-S [6], WSMML [7], e Mani e Nagarajan [8]. Com base nesses trabalhos, observam-se importantes questões relativas à semântica das descrições abordadas, tentando diminuir a ambigüidade das definições. A fim de melhorar a expressividade e precisão das descrições, as ontologias têm se tornado uma escolha atrativa. Ainda que estas ainda se apoiem em algum nível de entendimento consensual sobre o significado dos termos [9] elas fornecem uma maneira fácil de expressar e estender essas definições consensuais. Um trabalho relevante envolvendo ontologias e serviços Web é a OWL-S [6]. OWL-S, uma evolução da DAML-S, é uma ontologia escrita em OWL, uma linguagem voltada para construção de ontologias que vem se tornando um padrão na Web [10]. OWL-S é usada para descrever serviços Web através de classes extensíveis que cobrem atributos funcionais e não funcionais dos serviços. Entretanto, OWL foi construída com o foco em extensão e é muito genérica a fim de permitir um amplo escopo de possibilidades. Embora uma abordagem genérica seja altamente desejável para estimular o reuso, ela abre o caminho para incompatibilidades [9] se não se fornece nenhuma orientação sobre como se devem estender os descritores. Nossa proposta vem preencher esta lacuna, fornecendo diretrizes para que se faça a extensão de vocabulários genéricos através do reuso de outros vocabulários já existentes, embutidos em uma definição mais precisa dos conceitos da ontologia a ser construída. Além disso, a aplicação das diretrizes é apoiada por uma ferramenta, que guia o processo de extensão ou criação de vocabulários, sendo voltada para o especialista na área de aplicação, e não necessariamente na construção de ontologias.

3. Bases para a Elaboração das Diretrizes

Nossa abordagem faz uso da técnica apresentada por Campos [11] para elaboração de modelos conceituais, estruturada em níveis, dos quais adaptamos os dois primeiros.

No primeiro nível faz-se uma análise se o assunto tratado envolve mais de um domínio de conhecimento e qual o corte temático ou escopo do domínio a ser considerado. Para se pensar o domínio, a autora sugere o método de raciocínio analítico-sintético como forma de construção de Unidades do Conhecimento (UC). As UC correspondem à menor unidade de informação em um domínio de conhecimento. São associadas a termos e são utilizadas para entender o domínio. Nesse método começamos com a análise, procurando entender o domínio segundo classes de mais alto nível. A partir da escolha das UC que serão consideradas para descrever o domínio e de suas características comuns, parte-se então para a síntese das UC em uma hierarquia de categorias. Depois, a hierarquia é expandida em classes e subclasses, estas últimas às quais pertencem as UC.

No segundo nível da proposta deve-se definir as UC, detalhando-se o que são, para que servem e quais são seus elementos constitutivos, de forma que uma UC só possa ser organizada em uma classe e não em outra. Isto envolve também a associação a cada UC de um rótulo, denominado doravante como termo. A partir daí, traçamos as relações entre elas.

A importância do uso dessa técnica é que ela nos permite uma forma sistemática de organizar os domínios de conhecimento que estamos considerando, norteando a construção ou extensão dos descritores de uma ontologia e seus relacionamentos.

Questões relacionadas com a organização de domínios foram apresentadas por Ranganathan [2], aplicadas à área da Ciência da Informação. Sua Teoria da Classificação Facetada apresenta princípios para a organização de conceitos hierarquicamente estruturados [11]. Para isso, ele propõe um conjunto de categorias: Matéria, que optamos por chamar *Característica*; Energia, que chamamos *Processo*; Espaço, Tempo e, por fim, Personalidade, que chamamos *Objeto*. De acordo com Ranganathan, Matéria (*Característica*) se refere às propriedades do conteúdo sendo descrito, como, por exemplo, sua cor, a matéria de que é feito; Energia (*Processo*) se refere aos seus processos; Espaço a aspectos de sua localização; Tempo aos seus atributos temporais e, finalmente, Personalidade (*Objeto*) às entidades relacionadas, suas partes ou qualquer outro item que não pertença às outras categorias.

A estruturação dos conteúdos do domínio em categorias permite que estes possam ser encarados sob diversas perspectivas. Por exemplo, sob o ponto de vista temporal ou espacial, de suas características. Da mesma forma, a estruturação dos relacionamentos em categorias (que vamos chamar de *relações fundamentais*) facilita a identificação dos mesmos, pois ajuda a pensá-los em mais alto nível, de acordo com sua natureza.

Para estruturar as relações entre os conteúdos do domínio, optamos por utilizar as categorias de relações propostas na Teoria da Terminologia [11], estendendo-as quando necessário. Essas categorias cobrem diversos tipos de relações de agregação e especialização e também outros tipos tais como relações que constituem conceitos compostos, por exemplo: indo-europeu, analista-programador, e ainda relações de parentesco (várias), de instrumento e seu uso, dentre outras.

Já para a definição dos conceitos, utilizamos a abordagem da Teoria do Conceito [11], ou seja, ao definir um conceito procuramos identificar o que é, quais suas partes e para que serve. Para as categorias, utilizamos as definidas por Ranganathan, sendo que estas podem ser estendidas, de acordo com o domínio ou área de aplicação dos serviços.

4. Diretrizes para a Descrição de Serviços

O conjunto de diretrizes proposto fornece uma abordagem sistemática, não só para a descrição de conceitos complexos, mas também para que se pense a descrição do serviço de forma mais ampla, como, por exemplo, decidindo sobre qual a melhor maneira de descrever suas funcionalidades, através de seu propósito e escopo de uso. Cabe observar que o conceito de abordagem sistemática utilizado neste trabalho foi inspirado na definição de Bjorner [12] no contexto da engenharia de software, o qual prevê regras pré-estabelecidas associadas a cada fase do desenvolvimento do software.

Com base no que foi exposto nas Seções 2 e 3, elaboramos uma estratégia para a descrição dos serviços Web, estabelecendo aspectos relativos a *o que* e *como* descrever.

Para atender à estratégia, elaboramos um conjunto de diretrizes. Cada uma delas é definida de forma padrão, contendo: finalidade, objetivos esperados, artefatos produzidos e um conjunto de regras propostas para atingir os objetivos.

Como resumo das regras sugeridas, temos: (i) decidir sobre o escopo do nível de detalhes que é dado aos descritores, usando como apoio a determinação de quais domínios e sub-domínios estamos considerando e quais os seus pontos de interseção com outras áreas; (ii) aplicar o

método de raciocínio analítico-sintético como forma de construção das UC, definindo-as de maneira precisa; (iii) utilizar as categorias fundamentais de Ranganathan, estendidas de acordo com as necessidades de cada domínio; (iv) utilizar um conjunto de categorias de relações da Teoria da Terminologia, estendidas para a descrição de serviços Web.

5. OntoGuide

As diretrizes propostas estão expressas na ferramenta OntoGuide através de 3 etapas principais e duas secundárias, respectivamente: (i) configuração de ontologias reutilizáveis, (ii) tratamento dessas ontologias, (iii) extensão da ontologia básica de serviços Web, (iv) geração de uma ontologia estendida em OWL e (v) geração de documentação da ontologia estendida em XML. Estas etapas são descritas brevemente na próxima Seção.

5.1. Etapas da Elaboração da Ontologia de Serviços Web Estendida

A primeira etapa consiste na configuração da ferramenta. Inicialmente, a ontologia de aplicação básica de serviços Web a ser estendida deve ser definida. Em nosso experimento, utilizamos uma construída a partir do estudo das características dos serviços Web, e da análise de serviços já existentes. Após a escolha dessa ontologia básica, devem ser escolhidas as ontologias que vão ser utilizadas para descrever a área de aplicação do serviço, ou outras que se façam necessárias.

Após a escolha das ontologias, devem ser selecionadas as categorias fundamentais que serão utilizadas para cada uma delas, assim como as relações fundamentais. Para estas últimas podemos informar restrições, como, por exemplo, permitir relações apenas entre duas categorias fundamentais específicas. Além disso, estabelecemos uma correspondência entre as categorias e relações fundamentais de cada ontologia com um conjunto de categorias e relações fundamentais adotadas como padrão pela ferramenta.

Na segunda etapa vamos tratar cada ontologia escolhida. Para cada uma delas, para cada termo da ontologia, vamos informar a que categoria fundamental este pertence. Esta etapa é importante para que se possa ter uma visão mais uniforme do conjunto de descritores que utilizamos para descrever os serviços Web. Assim, por exemplo, evitamos que se utilizem termos de categorias fundamentais distintas para caracterizar um relacionamento do tipo *é um* ou *faz parte de*.

Estas duas etapas implementam a parte de escolha dos domínios, de determinar a forma de organização dos descritores em categorias e as categorias de relações, presentes na fase 1 das diretrizes propostas (Seção 4).

Na terceira etapa vamos estender a ontologia de aplicação de serviços Web, definindo cada um de seus termos. Para isso, a ferramenta permite que se referencie termos das outras ontologias configuradas na primeira etapa, filtrando a exibição de seus termos de acordo com as categorias fundamentais que fizer sentido utilizar, dependendo do termo que estiver sendo definido na ontologia de aplicação. A definição do termo é feita informando-se a que categoria fundamental este pertence, o que ele é (ou seja, se é uma especialização de um outro termo ou se está na raiz de uma categoria fundamental), as suas partes (por exemplo: o núcleo e o citoplasma são partes da célula), e para que serve. Ao definir o termo a ferramenta permite que se faça uma descrição estruturada, onde os termos escolhidos de outras ontologias são marcados por caracteres delimitadores (“<” e “>”), precedidos pelo qualificador abreviado da ontologia. Também se permite marcar termos que se reconhecem como conceitos a serem definidos mais tarde, mas que são importantes para compor a definição do termo corrente. A Figura 1 ilustra um exemplo prático dessa funcionalidade, na área de texto “complement”.

Esta etapa implementa a parte de descrição precisa de descritores e suas relações, propostas na Fase 1 das diretrizes, e também dá apoio para a implementação das Fases 2 e 3 das diretrizes, uma vez que estas estão relacionadas com a definição de conceitos e relacionamentos.

Na quarta etapa da ferramenta, vamos gerar o documento da ontologia em OWL, de acordo com os termos e relacionamentos informados. Esta ontologia, entretanto, não é considerada acabada. Ela é considerada um ponto de partida, a partir do qual a ontologia é aperfeiçoada através da introdução de um maior formalismo, como por exemplo, do estabelecimento de relações inversas, de equivalência, ou de restrição de domínios. Essa etapa ajuda ainda a documentar graficamente os descritores e suas relações, a partir de documentos OWL [13].

Na quinta etapa, pode-se gerar um documento XML com uma documentação da ontologia, onde os conceitos marcados na terceira etapa geram ponteiros ligando os conceitos, como num documento hipertexto. Além da definição estruturada de cada termo, com esses ponteiros, outros dados são fornecidos, tais como as categorias fundamentais utilizadas e seus significados. O objetivo é que esse documento seja publicado na Web, ajudando o entendimento da ontologia pelos usuários que desejarem utilizá-la. Esta documentação atende à proposta de documentação sugerida pelas diretrizes. Para ter uma idéia melhor do funcionamento da ferramenta a próxima seção mostra um exemplo de sua utilização.

5.2. Exemplo de Aplicação das Diretrizes

Para entender a importância da descrição acurada dos descritores de um serviço e de seus relacionamentos, vamos tomar como exemplo a extensão de uma ontologia de serviços Web para a área de Bioinformática. Vamos considerar que, nesta ontologia, vamos definir um conceito relacionado ao propósito de um serviço Web. Este conceito é o alinhamento local de pares de seqüências de proteínas. Um exemplo típico de serviço com este propósito é um programa de Bioinformática chamado Blast [14].

De acordo com nossa proposta, devemos pesquisar na literatura (ou entre especialistas da área) uma definição detalhada do que é nosso conceito. De acordo com um glossário de Bioinformática [15] encontramos a seguinte definição:

“Pairwise sequence alignment methods are concerned with finding the best-matching piecewise (local) or global alignments of protein / amino acid or dna / nucleic acid sequences”.

Ainda, no glossário, temos que um alinhamento de pares de seqüências de proteínas pode ser global e local, o que está de acordo com a nossa definição.

Além disso, um especialista em Bioinformática pode estabelecer que serviços que utilizam este tipo de alinhamento o fazem em bancos de dados de genomas, e que estes serviços conseguem retornar mais pares de seqüências semelhantes que os de alinhamento global, sendo mais rápidos que estes. Por outro lado, seus resultados não são tão precisos em relação à similaridade por inteiro das seqüências comparadas.

Com esta definição mais detalhada, podemos fazer buscas mais ricas por serviços, de acordo não só com o seu propósito básico, mas também pelas suas características mais genéricas, tais como: grau de precisão, velocidade, escopo do resultado.

A ferramenta ajuda a formar a definição já a partir do momento em que indicamos a que categoria fundamental o termo pertence. Na Figura 1, na caixa de seleção *Compatible Terms*, associada à caixa de texto *Is a*, por exemplo, só aparecem termos da categoria fundamental de *Processo* da ontologia de aplicação. Caso exista algum termo já definido que se encaixe na descrição desejada, basta selecioná-lo da caixa de seleção. No caso, o termo sendo descrito, *pairwise local alignment*, pertence à categoria de *Processo*. Desta forma, o termo que o generaliza, *pairwise alignment*, tem de pertencer à mesma categoria fundamental (no caso,

Processo). Procederíamos da mesma forma, se o termo que estamos definindo fosse composto por outros conceitos (“is composed of”), representados por outros termos.

Ao definir a utilidade de um serviço, começamos com a definição de uma ação, provavelmente obtida da categoria fundamental de *Processo* de uma ontologia de tarefa. Na Figura 1, na caixa de seleção *Compatible Terms* associada à caixa de texto *Used to*, são apresentados termos da categoria de *Processo* de ontologias reutilizadas no projeto. No exemplo, selecionamos o termo $\langle \text{finding} \rangle$ da ontologia de tarefa qualificada como *task*.

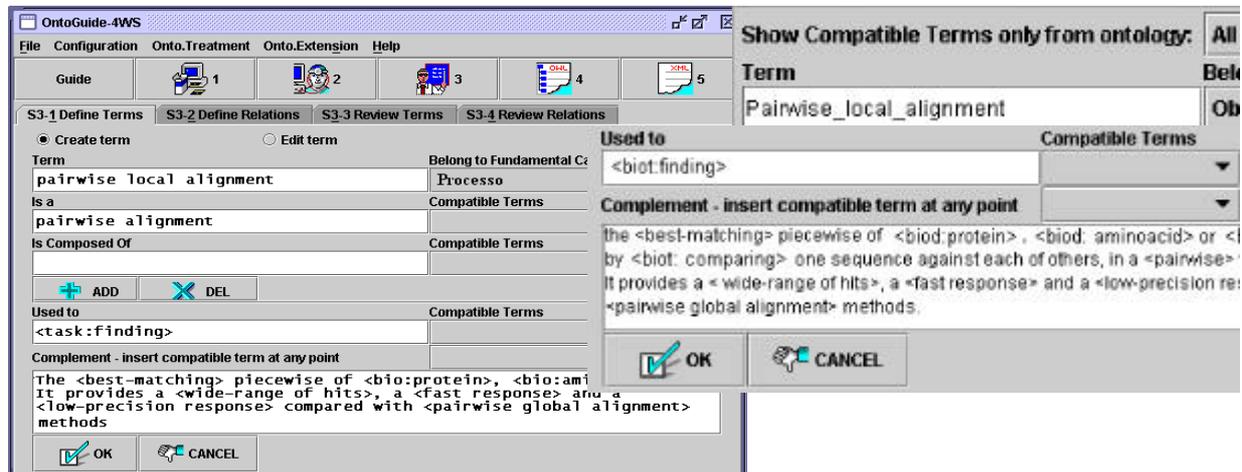


Figura 1 – Definindo Conceitos na Ferramenta OntoGuide (zoom à direita)

A maior flexibilidade, no entanto, vem na formação do complemento da definição do termo, informada na área de texto *Complement*. Nesta podemos ir compondo a definição do termo em linguagem natural, com a inserção de termos quaisquer de outras ontologias reutilizadas no projeto, selecionadas na caixa de seleção *Compatible Terms* associada. Neste caso, os termos selecionados na caixa de seleção são inseridos entre caracteres especiais, sendo que o caractere especial de início é seguido pelo identificador da ontologia. Por exemplo, selecionamos $\langle \text{bio:protein} \rangle$, reutilizando o conceito *protein* da ontologia de domínio da Biologia, qualificada como *bio*. Podemos ainda, marcar um termo entre caracteres especiais, porém sem um identificador de ontologia. Neste caso, a ferramenta entende que é um termo que sabemos ser importante definir, tendo-se optado por fazê-lo mais tarde. Assim, em um momento posterior, podem-se conferir os termos a definir na aba de *Review Terms*.

Na aba de *Review Relations*, a ferramenta sugere as possíveis relações de cada termo com outros, com base na definição que é feita na tela da Figura 1, permitindo definir essas relações a partir desta aba, ou descartá-las.

No caso de sugerir relações, os termos marcados são uma importante fonte de raciocínio. Por exemplo, para o caso do termo da Figura 1, podemos sugerir que ele provavelmente se relaciona com os termos $\langle \text{bio:protein} \rangle$, $\langle \text{fast-response} \rangle$ e $\langle \text{pairwise global alignment} \rangle$.

Como podemos observar, a partir de uma definição textual acurada conseguimos de forma simples introduzir na ferramenta uma série de conceitos reutilizados de outras ontologias e inferir, ainda que de forma simples, uma estrutura básica da ontologia e seus relacionamentos. De uma forma guiada, é possível que um especialista em Bioinformática, mas não em construção de ontologias, consiga gerar uma versão preliminar da ontologia já em OWL, bem como uma documentação em XML. Dessa forma, a partir daí, um especialista em construção de ontologias, mas não em Bioinformática, pode acrescentar mais formalismos na ontologia, como por exemplo, através do estabelecimento de relações inversas, e gerar uma ontologia mais completa. Com isso aproveitamos o melhor da especialidade de cada profissional e favorecemos o reuso e a melhor uniformidade na definição dos conceitos de um domínio.

Como contraste, vamos analisar os mesmos conceitos aqui exemplificados, porém definidos na ontologia de Bioinformática presente no projeto MyGrid, em sua versão de 03/11/2003 [16]. Este projeto foi escolhido por ser o mais avançado na aplicação prática de uma ontologia de serviços Web a uma área de aplicação específica.

Na ontologia de MyGrid temos que o conceito *pairwise global alignment* é um *global alignment* e que *pairwise local alignment* é um *local alignment*, sendo necessário definir esses quatro termos. Ao contrário do que encontramos na literatura, onde alinhamentos *pairwise* se dividem em *global alignment* e *local alignment*, bastando definir três termos. Embora seja um exemplo simples, nos indica que pensar o domínio com base em seus conceitos traz vantagens que se traduzem em hierarquias mais bem construídas.

Um outro exemplo, extraído da mesma ontologia, é a definição de serviços que utilizam alinhamento local e global. Neste caso, na ontologia do MyGrid, existe a definição do termo *global sequence alignment service*, mas não a do termo *local sequence alignment service*, como seria de se esperar. Este último foi substituído pelo termo *BLAST_service*. Cabe observar aqui que, ainda que os serviços BLAST sejam os mais usados em Bioinformática para alinhamento local, não são os únicos, ou podem surgir novos em um futuro próximo. Dessa forma, seria mais conveniente defini-los como um *local sequence alignment service*. Além disso, o termo *BLAST_service* é definido, dentre outras formas, em função de uma tarefa que executa, no caso, *pairwise local aligning*. Porém, como não há uma descrição mais detalhada do que este significa, não temos como inferir que este tipo de função permite resultados mais amplos, menos precisos e mais rápidos. Desta forma, perdemos flexibilidade nas buscas, pois temos de procurar por *BLAST_service* ou por *pairwise local aligning*, para achar serviços com as características mencionadas, quando, ao nosso ver, seria mais natural para um Biólogo procurar pelas suas características de escopo, precisão e rapidez e não por conceitos mais restritivos e agregados como *pairwise local aligning*.

A descrição que utilizamos como exemplo é bem simples, podendo ser melhorada com outros atributos que caracterizem melhor a aplicabilidade do conceito associado ao termo *pairwise local aligning*. Entretanto, a ferramenta favorece que esta descrição seja feita, pois facilita que o Biólogo pense livremente, sem estar limitado por restrições tecnológicas de uma ferramenta tradicional de construção de ontologias.

6. Conclusão

Várias ferramentas têm sido propostas visando construir ou estender ontologias, muitas delas permitindo incorporar ou referenciar outras ontologias. Essas ferramentas, no entanto, não fornecem uma orientação adequada de como os descritores criados devem ser organizados. Como resultado, tem-se ontologias não uniformes, criadas sem que se conheçam os métodos adotados para a sua construção..

Nesse contexto, nossa contribuição desdobra-se em quatro aspectos. Primeiro, nossa abordagem propõe o uso de uma técnica de categorização, aliada a um conjunto de diretrizes com objetivos precisos, facilitando a construção de vocabulários estendidos para diferentes áreas de aplicação. Segundo, nossa abordagem incentiva o reuso de vocabulários existentes, permitindo a utilização dos conceitos destes de forma amigável e guiada, incorporando-os em uma descrição feita em linguagem natural, com o apoio de uma ferramenta de software. A ferramenta expressa o conjunto de diretrizes propostas e fornece um conjunto de categorias padrão para termos e relacionamentos, usadas para nivelar as ontologias utilizadas e ajudando na definição de conceitos mais uniformes. A ferramenta possibilita também alguma inferência sobre as definições, guiando o uso de termos semelhantes de outras ontologias, e sugerindo possíveis relacionamentos entre os termos definidos. Terceiro, por possibilitar uma definição estruturada, a ferramenta permite que especialistas da área de aplicação trabalhem na

definição dos conceitos, sem precisar de um conhecimento específico sobre construção de ontologias. A partir dessa definição mais precisa, uma primeira ontologia é gerada automaticamente em OWL pela ferramenta. Esta, pode ser aprimorada por um profissional que domine técnicas formais de construção de ontologias, acrescentando, por exemplo, relações inversas e de restrição de domínios, as quais podem adicionar o formalismo necessário, mas que não requerem deste profissional um conhecimento mais profundo da área de aplicação. Tudo isso se traduz na construção de descritores mais ricos e bem organizados, que permitem buscas mais adequadas à descoberta dinâmica de serviços Web, como discutido na seção 5.2.

Por fim, a partir das descrições introduzidas na ferramenta, permite-se gerar uma documentação automática, que pode ser introduzida em uma página Web, explicando de que forma a ontologia é categorizada, quais os conceitos que ela define, em linguagem natural, e permitindo navegar entre os conceitos, como em um sistema de hipertexto.

Trabalhos futuros podem explorar o uso de diferentes esquemas de categorização de termos e de relacionamentos, para permitir a melhor restrição de conceitos compatíveis de outras ontologias na definição de termos da ontologia de aplicação de serviços Web.

7. Referências

- [1] D. Tidwell, "Web services: the Web's next revolution", Nov 2000. Available at: www-106.ibm.com/developerworks/edu/ws-dw-wsbasics-i.html.
- [2] Ranganathan, S.R., *Prolegomena to library classification*. Bombay: Asia Publishing House, 1967, pp. 398.
- [3] A. Keller, H. Ludwig, "The WSLA Framework: Specifying and Monitoring Service Level Agreements for Web Services", *Journal of Network and Systems Management*, 2002, Vol. 11 N. 1 pp: 57- 81.
- [4] V. Tasic, K. Patel, B. Pagurek, "WSOL - Web Service Offerings Language", In *Proc. of the Workshop on Web Services, e-Business, and the Semantic Web (WES) at CaiSE'02*, Toronto, Canada, May 2002.
- [5] K. Ballinger, P. Brittenham, A. Malhotra, W. A. Nagy, S. Pharies, "Web Services Specification: Inspection Language (WS-Inspection) 1.0". Nov 2001. Available at: <http://www-106.ibm.com/developerworks/webservices/library/ws-wsilspec.html>.
- [6] OWL-S Ontology. Available at: <http://www.daml.org/services/owl-s/1.0/>
- [7] A. Sahai, A. Durante, V. Machiraju, "Towards Automated SLA Management for Web Services", *HP Laboratories Palo Alto*, Jul, 2002. Available at: <http://www.hpl.hp.com/techreports/2001/HPL-2001-310R1.pdf>.
- [8] A. Mani, A. Nagarajan, "Understanding quality of service for Web services - Improving the performance of your Web services", Jan 2002. Available at: <http://www-106.ibm.com/developerworks/library/ws-quality.html>.
- [9] M. Nodine, J. Fowler, "On the Impact of Ontological Commitment", In *Proceedings of the Workshop on Ontologies in Agent Systems*, Bologna, Italy, Jul 2002.
- [10] Web Ontology Language. Available at: <http://www.w3.org/TR/2003/PR-owl-ref-20031215/>
- [11] M. L. A. Campos, "Organização das Unidades de Conhecimento em Hiperdocumentos: o modelo conceitual como um espaço para a realização da autoria", Tese D.Sc., UFRJ, IBICT, 2001.
- [12] D. Bjorner et al. "The Vienna Development Method: The Meta Language", *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Verlag, 1978, Vol. 61.
- [13] Protégé 2000 Ontology Editor. Available at: <http://protege.stanford.edu/>.
- [14] S.F. Altschul, W. Gish, W. Miller, E.W. Myers, D.J. Lipman, "Basic local alignment search tool.", *Journal of Molecular Biology*, 1990, pp 215:403-410.
- [15] Wikipedia Encyclopedia. Available at: <http://www.wikipedia.org>.
- [16] MyGrid DAML+OIL Ontologies. Available at: <http://cvs.mygrid.org.uk/ontology-server/>.