Uma Proposta de Soft Ontologies baseada em RDF Fuzzy

Rita de Cássia Catini

Campo Limpo Paulista / 2020

Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação

Uma Proposta de *Soft Ontologies* baseada em *RDF fuzzy*

Esse documento corresponde à dissertação apresentada à Banca Examinadora para defesa no curso de Mestrado em Ciência da Computação da Unifaccamp, Centro Universitário Campo Limpo Paulista.

Campo Limpo Paulista, 07 de abril de 2020.

Rita de Cássia Catini

Prof. Dr. Rodrigo Bonacin (Orientador)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Dedico esse trabalho a Deus, que sempre abençoou o meu caminho, e a meu marido e minhas filhas, que fizeram de tudo para que este dia chegasse. Vocês são a luz da minha vida!

Agradecimentos

Agradecer é reconhecer que houve um momento em que se precisou de alguém, portanto, inicialmente, eu agradeço a Deus pela proteção constante, por ser fonte de fé, força e direção em todos os momentos de minha vida.

Agradeço aos meus pais, Marcílio e Maria Rita, e aos meus irmãos Marcílio Jr. e Neto pela educação que me deram, pelo apoio e incentivo nas minhas jornadas, por estarmos sempre juntos e dividirmos momentos de alegria e tristeza. Respeito e sou muito feliz por nossa união.

Ao meu marido, Paulo Cesar, pela ajuda e incentivo para concretizar este trabalho, além do amor, companheirismo e paciência no decorrer destes dezenove anos de muita felicidade. Você é um exemplo a ser seguido pois é generoso, inteligente, ótimo pai e esposo, dedicado e tem um coração imenso. Você é meu alicerce! Te admiro e amo muito.

Às minhas queridas filhas, Maria Luísa e Isabella, pela torcida e orações noturnas para a conclusão deste trabalho. Ser mãe é a parte mais doce da minha vida! Não há como descrever o tamanho e a força do amor que sinto por vocês.

Ao meu orientador, professor Dr. Rodrigo Bonacin, por compartilhar seu conhecimento com muita paciência, pelo tempo disponibilizado para orientar e direcionar minhas atividades no andamento do trabalho e pela confiança depositada em mim.

Ao professor Dr. Julio César dos Reis, pelas discussões sobre o trabalho e idéias para aperfeiçoá-lo.

Aos profissionais da academia que aceitaram, para a avaliação empírica, testar e avaliar meu protótipo.

A todos, MUITO OBRIGADA!

“O sucesso é a soma de pequenos esforços repetidos dia após dia.”

(Robert Collier)

Resumo. *A vida das pessoas está cada vez mais ligada à tecnologia e a Web está mais integrada à sua rotina diária. As atividades humanas são flexíveis e pertencem a domínios abertos. Isso significa que é necessário que os aplicativos de software inteligentes sejam capazes de lidar com interpretações subjetivas e conceitos mal definidos para apoiar dinamicamente as atividades diárias. Existem vários aplicativos de software que apoiam as pessoas interessadas em melhorar seus desempenhos físicos. Normalmente, eles usam dados de seus bancos de dados e/ou informações da análise de um profissional de educação física para inferir sugestões de treinamento. Geralmente, essas análises (anamneses) incluem as características e o objetivo desejado, e os profissionais indicam o treinamento a ser realizado de acordo com seus próprios conhecimentos e habilidades. No entanto, as soluções existentes são limitadas em termos de análise de feedback social e marcação social dos usuários, associadas às várias atividades de treinamento. Este trabalho apresenta uma arquitetura conceitual baseada em soft ontologies para lidar com recomendações e suporte a decisão em ambientes dinâmicos e com incerteza, bem como apresenta um protótipo do chamado Gym Workout Planner (OntoGymWP), que implementa essa arquitetura e avalia o seu potencial em melhorar a experiência de treinamentos dos usuários. A arquitetura conceitual para modelagem da soft ontology apresentada nesta dissertação é ampla e genérica, ou seja, contempla diversas situações que exigem análise de comportamento de usuários e tomadas de decisão personalizadas. É proposta uma abordagem baseada em rdf fuzzy para implementar essas soft ontologies. No contexto do OntoGymWP, as soft ontologies fornecem uma representação flexível e expansível do feedback social sobre as atividades físicas e determinam o comportamento do sistema. Elas são usadas para representar o perfil dos usuários, conceitos compartilhados do domínio para cada grupo de usuários (por exemplo, valores de crenças relacionados a cada atividade física) e planos de treinamento para cada indivíduo. O OntoGymWP foi avaliado em cenários de aplicação em uma academia de ginástica com auxílio de profissionais de educação física.*

Palavras-chaves: *Soft Ontologies; RDF Fuzzy; Suporte Personalizado à Decisão; Sistema de Recomendação.*

Abstract. *People's lives are increasingly linked to technology, and the Web is more integrated into people's routine. Human activities are flexible as well as belong to open domains. Thus, the dynamic support of daily activities demands intelligent software applications able to deal with subjective interpretations and ill-defined concepts. There are several software applications to support people interested in improving their physical performance. Typically, these applications use their databases content and/or inputs from analyzes of physical education professionals to infer training suggestions. Usually, this analyzes (anamnesis) includes the athlete history and the desired goals, and professionals indicate the training to be performed according to their own knowledge and skills. However, existing computational solutions for supporting this task are limited in terms of considering social feedback and users' social tagging associated with the various training activities. This work presents a soft ontology based conceptual architecture for dealing with decision support and recommendation under dynamic and uncertainty situations, as well as a prototype named Ontology based Gym Workout Planner (OntoGymWP), which implements this architecture and evaluates the potential of this architecture in enhancing users' training experience. The conceptual architecture for soft ontology presented in this dissertation is of broad use and generic, that is, it deals with several situations that require analysis of user behavior and personalized decision making. We propose a fuzzy rdf approach for implementing these soft ontologies. In the context of OntoGymWP, the Soft Ontologies provide a flexible and expandable representation of social feedback on physical activities, and they determine the system behavior. They are used to represent users' profile, shared domain concepts for each group of users (e.g., belief values related to each physical activity) and training plans for each individual user. The OntoGymWP was evaluated in practical scenarios in a fitness center with the support of physical education experts.*

Palavras-chaves: *Soft ontologies; RDF Fuzzy; Personalized Decision Support; Recommendation Systems.*

Sumário

1. Introdução 1

1.1. Contexto e Motivação 1

1.2. Problemática e Justificativa 2

1.3. Objetivos, Contribuições e Métodos 4

1.4. Estrutura da Proposta 5

2. Referencial Teórico e Metodológico 6

2.1. *Web* Semântica 6

2.1.1 Ontologias *Web* 8

2.1.2 *Hard ontologies* 10

2.1.3 *Soft ontologies* 13

2.2 *RDF (Resource Description Framework)* 18

2.3 Lógica *Fuzzy* 20

2.3.1 Ontologias *Fuzzy* 21

2.3.2 RDF *Fuzzy* 23

3. Trabalhos Relacionados 29

3.1 Estudos de *Soft Ontologies* 29

3.1.1 Planejamento da revisão sobre s*oft ontologies* 29

3.1.2 Execução da Revisão sobre *Soft ontologies* 31

3.1.3 Análise de Resultados 36

3.2 Estudos de *RDF fuzzy* 42

3.2.1 Planejamento da Revisão sobre *RDF fuzzy* 42

3.2.2 Execução da Revisão sobre *Fuzzy RDF* 44

3.2.3 Análise de Resultados 51

3.3 Considerações finais das revisões sistemáticas 61

4. Arquitetura conceitual para modelagem e uso de *soft ontologies* 63

4.1. Metodologia de Pesquisa 63

4.2. Proposta e Aplicação de uma Arquitetura Conceitual para Modelagem e Uso de *Soft Ontologies* 64

4.2.1. Arquitetura conceitual para modelagem da *soft ontology* 65

4.2.2. Cenário de Avaliação: sistema de sugestão de treino em academia 71

5. Protótipo OntoGymWP. 84

6. Avaliação da Arquitetura Conceitual e Protótipo Proposto 97

6.1 Avaliação Funcional 97

6.1.1 Capacidade de análise do perfil 98

6.1.2 Representação das ações no Grafo *RDF Fuzzy* 101

6.1.3 Análise do grafo *RDF Fuzzy* 103

6.1.4 Alterações no grafo *RDF Fuzzy* 103

6.1.5 Possibilidade de lidar com informações RDF 106

6.2 Avaliação Empírica 107

6.2.1 Participantes e Procedimentos 109

6.2.2 Resultados 112

6.3 Discussão 113

7. Conclusão e Trabalhos Futuros 115

Referências Bibliográficas 118

Glossário

Folksonomias: Marcações livres, pessoais e que podem ser consumidas por qualquer usuário em um ambiente social, como a *web*.

Ontodimensões: Dimensões ontológicas das *soft ontologies* que permitem a exploração recorrente de domínios de conhecimento em múltiplas perspectivas em busca de uma compreensão mais abrangente.

Ontologias: São elementos de dados usados, na *web* semântica, para representar o conhecimento do domínio em um formato interpretável por pessoas e por máquinas.

Ontospaces: Espaço ontológico que permite relacionar a existência de entidades de um domínio entre si no qual um domínio de informação "é" ou existe.

RDF: O *RDF* (*Resource Description Framework*) é um padrão da *web* semântica para a representação descritiva dos recursos ou dados precisos da *web*.

RDF fuzzy: Extensão sintática e semântica do modelo RDF para representar dados difusos da *web*.

Sistemas enativos: Sistemas em que usuário e sistema são dinamicamente influenciados um pelo outro.

Hard ontologies: Ontologias com categorias fixas e estruturas hierárquicas rígidas.

Soft ontologies: Ontologias que permitem a representação de conhecimento de domínios imprecisos e dinamicamente evolutivos.

Lista de Abreviaturas e Siglas

aRDF	RDF Anotado
NS	*Namespaces*
OntoGymWP	*Ontology based Gym Workout Planner*
OWL	*Web Ontology Language*
OWL DL	*OWL Description Logic*
RDF	*Resource Description Framework*
RDF fuzzy	*Fuzzy Resource Description Framework*
SPARQL	*SPARQL Protocol and RDF Query Language*
URI	*Uniform Resource Identifier*
W3C	*World Wide Web Consortium*
XML	*Extensible Markup Language*

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Camadas da arquitetura da *web* semântica. 7

Tabela 2 - Aspectos das sub-linguagens OWL. 12

Tabela 3 - Parâmetros da Pesquisa de *Soft ontologies* 30

Tabela 4 - Critérios de seleção da revisão sistemática de *soft ontologies.* 31

Tabela 5 - Resultado da pesquisa e aplicação dos Critérios de Seleção. 33

Tabela 6 - Abordagem dos artigos às *soft ontologies*. 34

Tabela 7 - Referência abreviada dos artigos selecionados sobre *Soft Ontologies*. 37

Tabela 8 - Parâmetros da Pesquisa de *RDF fuzzy* 43

Tabela 9 – Lista de sinônimos para a pesquisa de *RDF fuzzy* 43

Tabela 10 - Critérios de Seleção 43

Tabela 11 - Resultado da pesquisa e aplicação dos Critérios de Seleção. 45

Tabela 12 - Abordagem dos artigos ao *RDF fuzzy*. 47

Tabela 13 - Referência abreviada dos artigos selecionados sobre *RDF Fuzzy* 51

Tabela 14 - Elementos da arquiteura conceitual da *soft ontology*. 65

Tabela 15 - Associação entre os itens da arquitetura conceitual e de modelo concreto para teste. 72

Tabela 16 - Informações de anamnese dos 10 alunos mais similares à aluna Montana Vicent. 100

Tabela 17 - Informações de anamnese dos demais alunos similares à aluna Montana Vicent. 100

Tabela 18 - Profissionais de educação física que atuam como instrutures na academia. 108

Tabela 19 - Tabela de participantes. 110

Lista de Figuras

Figura 1 - Arquitetura em camadas da *web* semântica 6

Figura 2 - Um grafo RDF com dois nós (*Subject* e *Object*) e a propriedade do recurso conectando-os (*Predicate*). 19

Figura 3 - Exemplo uso da sintaxe RDF/XML 20

Figura 4: Exemplo de grafo *RDF fuzzy*. 26

Figura 5: Exemplo de RDF/XML *fuzzy*. 27

Figura 6 - Total estudos por base. 31

Figura 7 - Artigos selecionados para análise por fonte de pesquisa. 32

Figura 8 - Comparativo da quantidade de artigos analisados por base de pesquisa. 32

Figura 9 - Total estudos por base. 44

Figura 10 - a) Total estudos selecionados b) Estudos por fonte de pesquisa. 44

Figura 11 - Comparativo da quantidade de artigos analisados por base de pesquisa. 45

Figura 12 - Arquitetura conceitual da modelagem da *soft ontology*. 66

Figura 13 - Arquitetura conceitual da modelagem para a inclusão de um novo usuário. 68

Figura 14 - arquitetura da modelagem para atualizações da *soft ontology*. 69

Figura 15 - Modelagem do sistema de treino. 74

Figura 16 - Comportamento do modelo na sugestão de treino. 75

Figura 17 - Algoritmo de Dijkstra. 79

Figura 18 - Representação do grafo RDF ponderado de treino. 80

Figura 19 - Exemplo de sugestão de treino influenciado - Aquecimento. 81

Figura 20 - Exemplo da inclusão de uma ontodimensão. 82

Figura 21 - *Hard ontology* de exemplo, criada no Protégé, para o cenário de academia. 85

Figura 22 - Tela inicial do protótipo OntoGymWP. 85

Figura 23 - Tela para cadastro de novos alunos. 86

Figura 24 - Tela para buscar dados do aluno e lista do grupo similar. 86

Figura 25 - Consulta dos dados do aluno código 89. 87

Figura 26 - Resultado do algoritmo de agrupamento: grupo de alunos mais similares. 87

Figura 27 - Grafo do grupo de alunos similares 88

Figura 28 -a) Detalhe Treino do aluno mais semelhante; b) Detalhe da anamnese. 89

Figura 29 – Fragmento do arquivo RDF que representa o conhecimento visualizado no grafo do grupo de alunos. 89

Figura 30 - Exemplo do subgrafo *RDF Fuzzy.* 90

Figura 31 - Detalhe do subgrafo ponderado RDF Fuzzy. 91

Figura 32 - Grafo RDF Fuzzy com as atividades executadas pelo grupo. 92

Figura 33 – Fragmento do arquivo RDF Fuzzy dos exercícios praticados pelo grupo para cada tipo de atividade. 93

Figura 34- Grafo do treino individual sugerido ao aluno. 94

Figura 35 - Interface para alteração do treino sugerido pela *soft ontology.* 95

Figura 36 - Destaque 1: Três ontodimensões para aquecimento. 95

Figura 37 - Destaque 2: Quatro ontodimensões para aquecimento. 96

Figura 38 - Tabela Alunos, criada no banco de dados, com as informações dos atletas de exemplo. 98

Figura 39 – Usuários mais similares à aluna Montana Vicent. 99

Figura 40 - Grafo RDF Fuzzy das atividades dos alunos similares à aluna Montana Vicent. 102

Figura 41 - Atividades físicas dos alunos similares à aluna Montana Vicent. 102

Figura 42 - Sugestão de treino para a Aluna Montana Vicent. 103

Figura 43 - Detalhe do grafo RDF Fuzzy, com duas atividades diferentes para o treino de Costas. 104

Figura 44 - Detalhe do grafo RDF Fuzzy, com cinco atividades diferentes para o treino de Costas. 105

Figura 45 - Detalhe do grafo *RDF Fuzzy*, com alteração nas atividades de Pernas. 106

Figura 46 - Fragmento do arquivo RDF das atividades realizadas pelo grupo de alunos. 107

Figura 47 - Ficha de treinamento da academia - Anamnese. 109

Figura 48 - Ficha de treinamento da academia - Programa de treinamento. 110

1. Introdução

Ontologias permitem representar o conhecimento de um domínio e torná-lo recuperável, combinável e suscetível ao processamento automático (HAZMAN; EL-BELTAGY; RAFEA, 2011). Uma ontologia *Web* usualmente é projetada para trabalhar com dados nítidos e bem definidos, portanto elas podem não ser suficientes para representar informações dinâmicas e com incerteza envolvida. Na busca por ontologias que possuam hierarquia flexível e interativamente explorável, surge o conceito de *soft ontologies* (KAIPAINEN *et al.*, 2008). Elas possibilitam tratar de maneira mais adequada e proveitosa domínios de informação que evoluem dinamicamente e de difícil definição, como por exemplo, os sistemas enativos (KAIPAINEN *et al.*, 2008).

Neste trabalho é apresentada a proposta de um modelo de *soft ontology*, usando *RDF fuzzy* (*Fuzzy Resource Description Framework).* Seu diferencial, está justamente no fato de apresentar uma proposta de modelagem de *soft ontologies* e uma arquitetura conceitual que faz uso dessas ontologias. As *soft ontologies* permitem a implementação de características de sistemas enativos, bem como sistemas que auxiliam as atividades diárias das pessoas. Os pontos principais deste modelo são: uso de uma base de conhecimento ontológica flexível, uso de uma adaptação do RDF (*Resource Description Framework*)[1] para *RDF fuzzy* que possibilita a representação do conhecimento incerto da *soft ontology* e uso de algoritmos que permitem a atualização de valores e inclusão de dimensões nas *ontospaces* (PATA, 2011).

1.1. Contexto e Motivação

A tecnologia está cada vez mais integrada à rotina das pessoas, e assim faz crescer a necessidade de aplicações para representar e interpretar dinamicamente as diferentes situações do dia a dia. Soluções tecnológicas para auxiliar (ou controlar) rotinas e atividades ligadas à figura humana (*e.g.*, aplicativos para as áreas médica, educacional, esportiva, entre outras) são difíceis de serem projetadas em função da sua especificidade, dinamicidade e aspectos subjetivos relacionados. Sendo assim, pensar na modelagem de um recurso tecnológico de maneira estática e com comportamento pré-definido significa

[1] https://www.w3.org/TR/rdf-syntax-grammar/

não atender da melhor maneira às diferentes pessoas que o utilizarão; uma vez que, o comportamento e desempenho de cada indivíduo ou grupo de indivíduos são singulares.

Atualmente, a *Web* é o meio utilizado para as pessoas adquirirem e publicarem informações. Isso justifica o número crescente de sistemas projetados para utilização ou busca de informações, usando a Internet como plataforma. Nesse contexto, está se tornando crucial que os programas de computador lidem com as informações na *Web* de maneira automática e inteligente.

As tecnologias da *Web* Semântica, de acordo com Vera *et al.* (2013), foram aplicadas para diversos propósitos em diferentes áreas nos últimos anos, com o tipo de aplicação sendo definida principalmente pela forma como o conhecimento é representado e explorado. A tecnologia central para representação de conhecimento na *Web* Semântica é a ontologia.

Quando se trata de domínios de conhecimento bem definidos, as ontologias *Web* convencionais, aqui chamadas de *hard ontologies*, são capazes de representá-los de maneira satisfatória. Porém, em domínios em que a informação é vaga, ambígua ou de difícil definição, como é o caso dos sistemas enativos, as *soft ontologies* são a melhor opção (KAIPAINEN *et al.*, 2008).

Soft ontologies, termo formalmente conceituado por Kaipainen *et al.* (2008) que até então era intuitivo, são conjuntos de metadados dinamicamente flexíveis. Essa abordagem permite que o número de conceitos representados aumente ou diminua dinamicamente, bem como que qualquer subconjunto da ontologia seja levado em conta de cada vez, ou que seu peso ou prioridade mútua variem de maneira gradual, de modo a permitir diferentes perspectivas ontológicas.

1.2. Problemática e Justificativa

A construção de ontologias é uma tarefa complexa, requer alguns critérios e metodologias para que possam ser bem desenvolvidas, bem como envolve atividades como análise conceitual e modelagem de domínio. Os maiores desafios relacionados à construção de *soft ontologies* se baseiam, justamente, nas características de metadados contemporâneos, cuja hierarquia implícita é flexível, interativamente explorável e sua aplicação em domínios não definidos (ou parcialmente definidos). Do ponto de vista

computacional, essas características são complexas e difíceis de serem modeladas, principalmente quando se busca uma compreensão mais abrangente e eficiente.

Mesmo diante das dificuldades, crescem os trabalhos que abordam ontologias mais flexíveis, tais como as *soft ontologies* (*cf.*, Capítulo 3). Essa abordagem oferece inúmeras possibilidades de estudos antes dificultadas pelas conceituações hierárquicas de ontologias convencionais (*hard ontologies*), que não podem ser aplicadas de maneira adequada a muitas aplicações atuais. Alguns trabalhos presentes na literatura abordam o conceito de enatividade e a implementação de *soft ontologies* de maneira independente. Por exemplo, Kaipainen *et al.* (2011) e Pugliese e Lehtonen (2011) abordam o conceito de sistemas enativos e apontam que, para sua implementação, ontologias flexíveis são mais adequadas. Porém, não apresentam as técnicas para construção das *soft ontologies*.

Do ponto de vista da representação do conhecimento difuso, uma alternativa proposta, para a construção das *soft ontologies*, é o uso de uma adaptação do RDF. O RDF é modelo de metadados padrão para descrever recursos da *Web* de maneira compreensível por máquinas, proposto pelo W3C (W3C, 2014). No entanto, quando a representação do conhecimento se refere à dados vagos ou ambíguos, é necessário usar métodos e modelos flexíveis para processar informações semânticas no modelo de dados *RDF*. Desta maneira, a literatura apresenta trabalhos que compartilham uma abordagem comum para estender o modelo de dados *RDF*, anexando metainformações às triplas *RDF*, criando propostas de modelos de dados *RDF fuzzy* (e.g., Lv, Ma e Yan, 2008; Ma, Li e Yan, 2018).

A possibilidade de construir *soft ontologies* utilizando *RDF fuzzy* foi proposta por Bonacin, Calado e Dos Reis (2018). Porém, o foco desse trabalho era a construção de um modelo de teste para a validação de um meta-modelo para interoperabilidade ontológica.

Essa dissertação também propõe o uso do *RDF fuzzy* para a construção de *soft ontologies*, porém se aprofunda na implementação e faz uso dessa ontologia em uma arquitetura conceitual e um protótipo funcional de aplicação para auxílio ao usuário, mais especificamente no planejamento de treinamento físico. Quando se trata de aplicações que envolvem a plataforma *web*, a possibilidade de modelagem de sistemas baseados em uma abordagem influenciada pelo ambiente social e pela interação do usuário pode oferecer melhorias na qualidade das interações e resultados mais rápidos e personalizados.

1.3. Objetivos, Contribuições e Métodos

Diante do contexto apresentado, destaca-se a seguinte questão: "***Como modelar, implementar e utilizar soft ontologies para representar domínios com conceitos incertos/difusos e dinâmicos?***"

Assim, o principal objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de modelagem de *soft ontologies* e arquitetura conceitual aplicada na construção de sistemas dinamicamente evolutivos.

Nossa hipótese é que soluções baseadas em *RDF fuzzy* podem auxiliar na implementação de *soft ontologies*, tal que possam ser usadas em sistemas que se comportam de maneira dinamicamente adaptativa e evolutiva. Tais sistemas podem auxiliar as atividades ligadas à figura humana de maneira mais completa, personalizada, eficiente e inteligente.

Para tanto, as seguintes tecnologias e métodos são empregados na solução proposta nesta dissertação:

- Em primeiro lugar, propõe-se um modelo, baseado em *RDF fuzzy*, que permite a construção e representação de uma *soft ontology*. Isso pode facilitar o desenvolvimento de sistemas dinamicamente adaptativos e evolutivos. Tem-se, ainda, o foco na construção de sistemas que permitam personalização das experiências dos usuários, o que permite pensar em soluções influenciadas pelo comportamento das pessoas.
- Em segundo lugar, propõe-se uma arquitetura de solução composta por quatro algoritmos baseados em grafos *RDF* que permitem processar elementos, analisando e propondo respostas personalizadas, conforme destacados a seguir: (1) algoritmo para cálculo de similaridade, (2) algoritmo de decisão que mostra o melhor caminho entre os objetivos, (3) algoritmo para atualização dos valores do grafo *RDF fuzzy* e (4) algoritmo para inclusão de uma nova *ontodimensão*.
- Finalmente, o método proposto é implementado em um *software* e avalidado em um cenário de teste, permitindo a inferência e validação do modelo.

O modelo da arquitetura proposta foi pensado de maneira ampla para contemplar situações que exigem análise de comportamento de usuários, e que sejam capazes de responder e agir com base no estado do ambiente e que possibilitem o ajuste e tomadas de decisão personalizadas. Alguns exemplos de ambientes de aplicação são: redes sociais, ambientes de aprendizado, áreas ligadas à saúde e prática esportiva, desenvolvimento de recursos tecnológicos inteligentes. Para fins de implementação e experimentação, foi desenvolvido um sistema para recomendações de treinamento físico em academias.

1.4. Estrutura da Proposta

A presente proposta de dissertação está organizada em seis capítulos, como descrito a seguir:

- O Capítulo 1 apresenta uma breve introdução aos conceitos de *soft ontologies* e sistemas enativos, temas diretamente ligados ao foco desta dissertação. Apresenta ainda o objetivo, motivações e métodos adotados neste trabalho.
- O Capítulo 2 trata do referencial teórico e metodológico, definindo os conceitos e técnicas empregados na pesquisa.
- No terceiro capítulo são apresentados trabalhos relacionados à linha de pesquisa proposta para esta dissertação. A técnica utilizada para este levantamento foi a revisão sistemática. Foram feitos levantamentos com dois temas específicos: *soft ontologies* e *RDF fuzzy*.
- No Capítulo 4 é descrita a metodologia de pesquisa utilizada e detalhada a proposta da solução. Neste capítulo, é apresentado também o cenário de teste da arquitetura proposta neste trabalho.
- No quinto capítulo é apresentado o OntoGymWP, um protótipo de sistema de sugestão de treino para academia de ginástica, construído com a finalidade de avaliar a modelagem proposta neste trabalho.
- Por meio de uma avaliação funcional e uma avaliação empírica, o Capítulo 6 apresenta a avaliação do modelo proposto.
- Por fim, no Capítulo 7, são apresentas as considerações finais desse trabalho.

2. Referencial Teórico e Metodológico

O objetivo principal deste capítulo é apresentar a definição de conceitos e técnicas relacionados ao tema do trabalho. *Web* semântica e tecnologias associadas, ontologias, lógica *fuzzy* e outros conceitos, utilizados como base desta dissertação, são apresentados nas seções deste capítulo.

2.1. *Web* Semântica

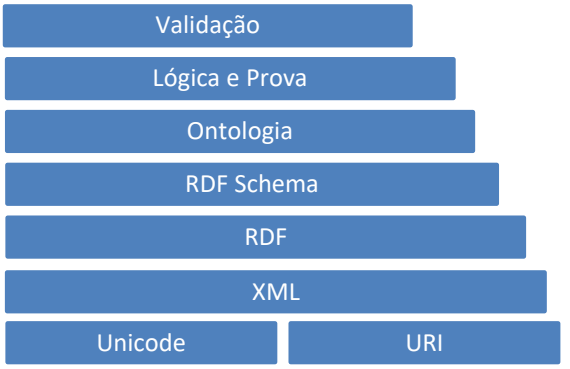
A Internet é uma ampla e crescente fonte de informações e serviços compartilhados por pessoas e aplicativos. No contexto apresentado, as ontologias desempenham um papel importante no apoio à troca e ao compartilhamento de informações.

As deficiências da *web* atual em lidar com o significado do conteúdo compartilhado, tais como em mecanismos de busca (JAIN; SINGH, 2013), prejudica a extração e compartilhamento de informações relevantes de uma grande coleção de documentos da *web*. Essas deficiências levaram à criação do conceito de *web* semântica e ontologia.

A *web* semântica é imaginada como uma *web* que usa documentos de texto e de marcação e representações semânticas. Precisa-se construir um novo paradigma para a recuperação e compartilhamento de informações que seja compatível com todos os padrões e forneça uma pesquisa rápida e eficaz (JAIN; SINGH, 2013).

Berners-Lee, Hendler e Lassila, (2001) propõe uma arquitetura em camadas para *web* semântica. A Figura 1 representa uma ilustração da referida arquitetura.

Figura 1 - Arquitetura em camadas da *web* semântica



Fonte: Baseado em Aghaei, Nematbakhsh e Farsani (2012)

Aghaei, Nematbakhsh e Farsani (2012) descrevem a que se refere cada camada da arquitetura da *web* semântica. A Tabela 1, a seguir, apresenta resumidamente as camadas da *web* semântica.

Tabela 1 - Camadas da arquitetura da *web* semântica.

CAMADA	FUNÇÃO
Unicode e URI	Tem a função de prover um mecanismo de identificação único dentro da pilha para a *web* semântica, sendo o Unicode usado para representar qualquer caractere de maneira exclusiva, independentemente do idioma, e o URI (*Uniform Resource Identifier*) um identificador exclusivo para recursos de todos os tipos.
XML	XML e seus padrões relacionados, como *namespaces* (NS) e esquemas, são usados para formar um meio comum de estruturar dados na *Web* sem qualquer comunicação entre os significados dos dados.
RDF	Modelo de dados simples que usa URIs para identificar recursos baseados na *Web* e descreve os relacionamentos entre os recursos em termos de propriedades e valores nomeados. Esse modelo será apresentado com mais detalhes no tópico 2.2.2.
Esquema RDF	Fornece um sistema de tipo básico predefinido para modelos RDF. Descreve classes e propriedades dos recursos no modelo RDF básico permitindo inferir tipos de recursos.
Ontologia	Modelo de dados de representação de um conjunto de conceitos dentro de um domínio. Essa camada é responsável por descrever propriedades e ligações de um domínio.
Lógica e Prova	Esta camada está no topo da estrutura da ontologia para fazer novas inferências utilizando um sistema de raciocínio automático.
Confiança	A última camada da pilha aborda a confiança para fornecer uma garantia de qualidade das informações na *Web* e um grau de confiança no recurso que fornece essas informações.

Fonte: Aghaei, Nematbakhsh e Farsani (2012)

Na *web* semântica, o objetivo é permitir que os computadores interpretem e explorem facilmente a *web*. Berners-Lee (2006) apresenta um conjunto de regras para publicar e conectar dados na *web*. São elas:

1. Use URIs como nomes para coisas.

2. Use HTTP URIs para procurar esses nomes.

3. Forneça informações úteis, usando os padrões (RDF, SPARQL) e procurando por um URI.

4. Inclua links para outros URIs para descobrir mais coisas.

Para melhorar a compreensão de como a *web* semântica funciona, as subseções a seguir apresentam mais detalhes sobre os conceitos de ontologias *web* e o modelo RDF.

2.1.1 Ontologias *Web*

A palavra "ontologia" é usada com diferentes significados em diferentes comunidades científicas. Do ponto de vista filosófico, Aristóteles definiu a Ontologia como o estudo de atributos que pertencem às coisas devido à sua própria natureza, ou seja, estudamos a ontologia das coisas pois sua natureza e estrutura podem ser descritas em termos de categorias e relações gerais. Do ponto de vista da Ciência da Computação, mais especificamente da *web* semântica, ontologia pode ser entendida como um tipo especial de objeto de informação ou artefato computacional onde, numa visão mais objetiva, "o que 'existe' é aquilo que pode ser representado". Dessa maneira as ontologias oferecem a possibilidade de modelar formalmente a estrutura de um sistema, isto é, as entidades e relações relevantes que emergem de sua observação e que são úteis para seu propósito (STAAB; STUDER, 2010).

Roche (2003) define ontologia como uma conceituação de um domínio ao qual um ou vários vocabulários podem ser associados e que participam do significado dos termos. Definida para um determinado objetivo, uma ontologia expressa um ponto de vista compartilhado por uma comunidade. Uma ontologia é representada em uma linguagem (ontologia explícita) cuja teoria (semântica) garante as propriedades da ontologia em termos de consenso, coerência, compartilhamento e reutilização.

A concepção e uso das ontologias estão ligados ao fato de que elas, segundo Hazman, El-Beltagy e Rafea (2011), estendem a interoperabilidade sintática da *web* à interoperabilidade semântica. Isso permite fornecer uma compreensão compartilhada e comum de um domínio que pode ser comunicado entre pessoas e sistemas heterogêneos e distribuídos. Os autores complementam afirmando que a *web* semântica e seus programas dependem fortemente de ontologias para estruturar dados, aumentando sua eficiência.

Diante do exposto, entende-se que a *web* semântica, por meio do uso de ontologias, propicia a conexão semântica das páginas e outros recursos *web*. Uma vez que, ontologias definem mais claramente o significado do conteúdo da *web*, e ainda possibilita a vinculação lógica entre recursos *web*.

Existem vários tipos de ontologias *web*. Isotani e Bittencourt (2015) definem as duas formas mais comuns de classificá-las: 1) ontologias pesadas vs. ontologias leves (*lightweight ontologies*); 2) ontologias de domínio vs. ontologias de tarefa. A seguir é apresentada uma síntese da classificação apresentada em Isotani e Bittencourt (2015):

1) As ontologias leves vêm sendo utilizadas na *Web* para categorizar grandes quantidades de dados e sua ênfase é definir a taxonomia que representa a relação hierárquica entre conceitos[2]. Já as ontologias pesadas ou densas enfocam não apenas a taxonomia, mas também a representação rigorosa da semântica entre os conceitos. Para isso requer a definição de cada conceito, a organização desses conceitos baseados em princípios bem definidos, uma definição formal da semântica entre os conceitos e suas relações. Para criar bases de conhecimento reusáveis e compartilháveis é fundamental definir ontologias pesadas (ISOTANI; BITTENCOURT, 2015).
2) Ontologias de domínio e de tarefa são necessárias para criar sistemas mais flexíveis e inteligentes e que possam ser aplicados em diversos domínios. A ontologia de domínio define e caracteriza o domínio no qual as tarefas ocorrem, e a ontologia de tarefa representa os processos e atividades para resolver um determinado problema abstraindo o contexto do domínio. Em outras palavras, a ontologia de domínio representa o conhecimento sobre um tópico, enquanto a ontologia de tarefa representa a habilidade de aplicar esse conhecimento para resolver problemas em diferentes situações (ISOTANI; BITTENCOURT, 2015).

Isotani e Bittencourt (2015) ainda destacam que existem duas maneiras de representar ontologias: a representação formal, usada para que as ontologias possam ser interpretadas por computadores. Para tanto, linguagens de descrição de ontologias têm

[2] O conceito de *lightweight ontology* é diferente do conceito de *soft ontology*, que é utilizado em sistemas enativos.

sido propostas, tais como RDF, RDF-Schema[3] e OWL (*Web Ontology Language*)[4]. Outra maneira, é utilizar representação gráfica, usada para a compreensão humana, como por exemplo grafos, estrutura de árvore, entre outras. Ambas são importantes, uma vez que a falta de uma dessas representações afeta a qualidade/uso da ontologia.

De acordo com Shih, Yang e Tseng (2011), tradicionalmente a construção de ontologias é um processo demorado e árduo pois depende principalmente da contribuição de especialistas de domínio. Na tentativa de melhorar esse processo, pesquisas recentes voltaram-se para a construção e manutenção de ontologias automáticas e semiautomáticas. Os autores destacam as seguintes abordagens: abordagem baseada em dicionário, mineração de regras de associação e análise formal de conceitos.

Os próximos tópicos exploram um pouco mais os conceitos de *hard* e *soft ontologies* e considerações importantes sobre sua aplicação.

2.1.2 *Hard ontologies*

Como já mencionado anteriormente, ontologias computacionais são um meio de modelar a estrutura de um sistema e ainda descrever e representar um domínio específico. De acordo com Roche (2003), ontologias possibilitam um entendimento comum e compartilhado de alguns domínios que podem ser comunicados entre pessoas e computadores.

Segundo Dowty, Wall e Peters (2012) a estrutura principal de uma ontologia consiste em uma hierarquia de conceitos de generalização/especialização, ou seja, uma taxonomia. Ontologias baseadas em estruturas hierárquicas fixas foram nomeadas por Kaipainen *et al.* (2008) como *hard ontologies*.

De acordo com Bloom (1956) o termo “taxonomia” se refere à forma tradicional de organizar e classificar a informação. Uma taxonomia possui tipicamente a forma hierárquica, como uma árvore, utilizando relacionamentos. Seu principal problema é que a sua estrutura é muito rígida para o dinamismo da *web*.

[3] https://www.w3.org/TR/rdf-schema/
[4] https://www.w3.org/TR/owl2-overview/

Ontologias tradicionais, ou *hard ontologies*, podem ser vistas como modelos conceituais que adotam um protocolo formal para possibilitar o compartilhamento de conhecimento entre especialistas no campo e entre este e o *software* (CAGLIONI; FUSCO, 2014). Os autores ainda afirmam que, as ontologias definem entidades, propriedades e relações que caracterizam um determinado campo de estudo em uma linguagem formal (incluindo a *OWL*). Assim recursos compatíveis com esta linguagem são capazes de "compreender" o conhecimento disponível na ontologia. A imposição do uso de tal formalismo permite ao modelador da ontologia eliminar uma série de incertezas na fase de conceituação de seu modelo, como incertezas associadas a ambiguidades, contradições, incompletude nas definições de objetos, propriedades e relacionamentos. Incertezas associadas com definições imprecisas e vagas podem ser resolvidas em uma ontologia formal, mas ao custo de simplificar o domínio. do estudo.

Hitzler e Parsia (2009) apontam que a OWL é a linguagem recomendada pelo consórcio da World Wide Web (W3C) para expressar ontologias para a Web Semântica. A linguagem nos permite descrever a semântica do conhecimento de maneira acessível à máquina.

Para Antoniou e Van Harmelen (2004) as linguagens de ontologia permitem que os usuários escrevam conceitualizações explícitas e formais de modelos de domínios. Os principais requisitos para linguagens de ontologias são:

(a) **uma sintaxe bem definida:** condição necessária para o processamento de informações pela máquina;

(b) **uma semântica bem definida:** descreve precisamente o significado do conhecimento, não permitindo intuições subjetivas e diferentes interpretações de diferentes pessoas (ou máquinas);

(c) **apoio eficiente ao raciocínio:** permite verificar a consistência da ontologia e do conhecimento, verificar relações não intencionais entre as classes e classificar automaticamente instâncias nas classes;

(d) **poder expressivo suficiente**: oferencendo uma linguagem rica o suficiente para expressar (grandes) classes de ontologias e conhecimentos; e

(e) **conveniência de expressão:** de um modo geral, quanto mais rica a linguagem, mais ineficiente se torna o apoio ao raciocínio. Portanto, esse requisito exige que se encontre o equilíbrio entre poder expressivo e apoio ao raciocínio eficiente.

A OWL se baseia no RDF e RDF-Schema, permite a representação do conhecimento ontológico, e usa a sintaxe XML do RDF. Inicialmente a OWL seria uma extensão do Esquema RDF, no sentido de que o OWL usaria a estrutura de classes e propriedades (***rdfs: Class***, ***rdfs: subClassOf***, entre outras.) do RDF e adicionaria primitivas de linguagem para suportar uma expressividade de conhecimento mais rica. Porém, se a lógica da linguagem fosse incorporada ao RDF sua expressividade seria prejudicada devido primitivas de modelagem do modelo (HITZLER; PARSIA, 2009).

Ainda de acordo com Hitzler e Parsia (2009) a dificuldade de oferecer suporte eficiente ao raciocínio e conveniência de expressão para uma linguagem tão poderosa quanto uma combinação do RDF-Schema com uma lógica completa, levou o Grupo de Trabalho em Ontologia da Web do W3C a definir a OWL como três sub-linguagens diferentes: OWL Full, OWL DL e OWL Lite. A Tabela 2 apresenta diferentes aspectos das sub-linguagens OWL.

Tabela 2 - Aspectos das sub-linguagens OWL.

Sub-linguagens OWL	Caracteristicas
OWL Full	Corresponde à linguagem OWL completa e usa todas as primitivas da linguagem e permite combinar essas primitivas com o RDF e o RDF-Schema. Isso inclui a possibilidade de alterar o significado das primitivas pré-definidas (RDF ou OWL), aplicando as primitivas da linguagem umas às outras. **Vantagem**: o OWL Full é totalmente compatível com RDF, tanto sintática quanto semanticamente: qualquer documento válido no padrão RDF também é um documento válido no padrão do OWL Full e qualquer inferência válida do RDF-Schema / RDF também é uma inferência válida do OWL Full. **Desvantagem**: a linguagem se tornou tão poderosa que se tornou indecidível, comprometendo a garantia de um raciocínio completo e eficiente.
OWL DL **(OWL Description Logic)**	Para recuperar a eficiência computacional , o OWL DL é uma sub-linguagem de OWL Full que restringe a maneira pela qual os construtores de OWL e RDF podem ser usados, proibindo a aplicação dos construtores

	de OWL entre si e, assim, garantindo que a linguagem corresponda a uma lógica de descrição bem estudada. **Vantagem**: permite um suporte eficiente ao raciocínio/inferência. **Desvantagem**: perde-se parte da compatibilidade com o RDF: em geral, um documento de RDF precisa ser estendido de algumas maneiras e restringido em outras antes de ser um documento válido da OWL DL. Por outro lado, todo documento DL OWL válido ainda é um documento RDF válido.
OWL Lite	Uma versão ainda mais limitada do OWL. Por exemplo, o OWL Lite exclui classes enumeradas, declarações de desarticulação e cardinalidade arbitrária (entre outras). **Vantagem**: é uma linguagem que é mais fácil de entender (para usuários) e mais fácil de implementar (para construtores de ferramentas). **Desvantagem**: possui expressividade restrita.

Fonte: Hitzler e Parsia (2009)

O conhecimento representado em uma *hard ontology* usualmente é formal, tem uma estrutura determinada com um significado particular, determinista e pouco flexível. Essa é provavelmente uma propriedade necessária das ontologias para determinados domínios e aplicativos, mas isso também limita sua capacidade em situações de incerteza e domínios difusos (VERA *et al.*, 2013).

O próximo tópico apresenta conceitos de *soft ontologies*, assunto diretamente ligado ao presente trabalho e que explora ontologias de estrutura mais flexível e capazes de lidar domínios de conhecimento difusos.

2.1.3 *Soft ontologies*

De acordo com Kaipainen *et al.* (2008), é contra a natureza dinamicamente evolutiva de muitas aplicações contemporâneas serem analisadas apenas em termos de ontologias formais convencionais. Estas ontologias, denominadas *hard ontologies*, dependem de categorias fixas baseadas em expertise e estrutura hierárquica. Muitas dessas aplicações dependem do compartilhamento de folksonomias, que são descrições pessoais e pouco estruturadas de informações e objetos.

Existem contextos em que é difícil fazer uma estrutura fixa e permanente do conteúdo. O desenvolvimento de *soft ontologies* nos permite trabalhar com áreas nas quais

é difícil estabelecer relações claras e organizar o conhecimento para criar ferramentas da *web* semântica (VERA *et al.*, 2013).

Para Kaipainen *et al.* (2008), *soft ontologies*, são conjuntos de metadados dinamicamente flexíveis e inerentemente espaciais para domínios mal definidos. Uma *soft ontology* suporta a abordagem de interpretação aberta, permitindo que o usuário visualize os dados a partir de sua perspectiva sem ser fixado ao ponto de vista do curador (DIAZ-KOMMONEN *et al.*, 2003).

De acordo com Isotani e Bittencourt (2015), a construção de ontologias envolve diferentes atividades, como análise conceitual e modelagem de domínio. Pode-se assim dizer que os maiores desafios relativos à construção de *soft ontologies* baseia-se, justamente, nas características de metadados contemporâneos, cuja hierarquia implícita é maleável e interativamente explorável e sua aplicação em domínios difusos. Tais características nos leva à necessidade de exploração em múltiplas perspectivas. Kaipainen *et al.* (2008) explica que a exploração de um domínio em múltiplas perspectivas se trata de explorar de maneira recorrente um domínio da informação a partir de múltiplas perspectivas em busca de uma compreensão mais abrangente.

Kaipainen *et al.* (2008), esclarece que conjuntos flexíveis de metadados descrevem um domínio de informação por meio de propriedades espacialmente conceituadas. Neste sentido, as ontodimensões definem conjuntamente o espaço ontológico (*ontospaces*) no qual um domínio de informação "é" ou existe.

Os conceitos de ontodimensões e espaço ontológico também são explorados por Pata (2011). O autor destaca que uma *ontospace* é um meio de relacionar a existência de entidades de um domínio entre si. Ele permite representar qualquer tipo de descrição de conteúdo digital em sistemas dinâmicos, e a relação com o domínio ao qual pertencem em termos de similaridade, que por sua vez definidas por meio de proximidade na *ontospace*.

Pata (2011) destaca que o formalismo ontospacial permite a identificação de nichos (*i.e.*, uma gama de perspectivas dos membros da comunidade que definem um subespaço específico de uma *ontospace)* para compartilhamento de significados coletivos. Nichos ainda podem ser vistos como o hipervolume n-dimensional delimitado pelo alcance de cada ontodimensão, que é ideal para o compartilhamento de significados.

Como as *soft ontologies* permitem análises não estruturadas por hierarquia, em variadas ontodimensões criadas, abrem-se inúmeras possibilidades de estudos antes dificultadas pelas conceituações hierárquicas de ontologias convencionais. Por outro lado, percebe-se que lidar com domínios não hierárquicos e indefinidos é um desafio, já que a falta de componentes mais genéricos e padronizados cria dificuldades à formalização e obtenção de componentes de *software* capaz de interpretar representações semânticas.

Como destacado por Diaz-Kommonen *et al.* (2003), a abordagem de *soft ontology* é aplicável para práticas especializadas que pretendem apresentar uma abordagem de interpretação aberta. Ela permite que o usuário visualize os dados a partir de sua perspectiva, ou seja, sem apresentar uma taxonomia ou categorização segundo o ponto de vista do curador. *Soft ontologies* também apoiam a neutralidade em domínios nos quais pode existir mais de uma definição ou verdade aceita, como por exemplo ética, política, entre outros.

A presente abordagem implica novos meios interativos, resultantes de práticas ontológicas definidas ou influenciadas pelo usuário, como folksonomias ou práticas de marcação e ambientes enativos. Essas são características de muitos gêneros de mídia contemporâneos voltados ao usuário (KAIPAINEN *et al.*, 2008).

Graças a possibilidade de interpretação aberta e de implementação de sistemas que trabalham com dados dinamicamente evolutivos, uma grande motivação para o uso *soft ontologies* é a criação de tecnologias ligadas ao uso de folksonomias ou aplicações que implementem características enativas. Os conceitos e considerações importantes sobre a aplicação de folksonomias e sistemas enativos serão explorados a seguir, para que se possa entender como as *soft ontologies* podem auxilar em sua atividade.

Folksonomia

Os termos "*folks*", do inglês, pessoas e "*taxonomy*", do inglês, taxonomia formam o nome de marcações em forma de *hiperlinks* que são tipicamente definidas e criadas pelo próprio usuário em suas redes sociais. Wal (2007) sugere que informações da *web* sejam classificadas como folksonomias, entendendo que se tratam de marcações livres, pessoais e que podem ser consumidas por qualquer usuário em um ambiente social.

Para Zahia e Mohamed (2013), folksonomias incluem todos os tipos de *tags*, variando de palavras de dicionário padrão e expressões compostas até jargões e palavras

sem sentido. Com vocabulários voltados para o usuário e livremente construídos, as folksonomias contrastam com ontologias que usam termos controlados normalmente contribuídos por especialistas.

Nos sistemas baseados em folksonomia, os usuários podem anexar um conjunto de *tags* aos recursos. Essas *tags* não estão vinculadas a nenhum vocabulário centralizado, portanto, os usuários podem criar e combinar *tags*. Alguns pontos fortes das folksonomias são a facilidade de uso e o fato de refletirem o vocabulário de seus usuários (MATHES, 2004).

De acordo com Shirky (2005), num primeiro momento, a marcação pode transmitir a ideia errada de um sistema de classificação ruim. No entanto, graças à sua simplicidade, os usuários podem produzir milhões de *tags* correlacionadas. É uma mudança em relação às abordagens clássicas, em que um grupo restrito de pessoas formaliza um conjunto de conceitos e relações, para uma abordagem social. Nesta abordagem os conceitos e suas relações emergem da marcação coletiva.

À medida que a *web* semântica amadurece e a *web* social cresce, aumenta o valor da aplicação das tecnologias da *web* semântica aos dados da *web* social. Neste contexto, a folksonomia e ontologias são exemplos de tecnologias importantes para a *web* semântica.

Sistemas Enativos

O conceito de enação refere-se a um engajamento mais abrangente do que a interação. Conforme introduzido e discutido por Varela, Thompson e Rosch (1991), a origem da noção sobre enação remonta à ideia de interação incorporada entre um sujeito e outra entidade.

Gallagher *et al.* (2013) defende que a noção de um sistema com enatividade requer pensar sobre o cérebro de uma maneira diferente dos modelos computacionais. Por exemplo, em termos evolutivos, o cérebro em alguma escala de variações, faz parte de um corpo vivo, com mãos que podem alcançar e apreender de certas maneiras limitadas, olhos estruturados para focalizar, sistema autônomo, uma postura ereta, etc. Sendo que também lida com tipos específicos de ambientes e com outras pessoas. Mudanças em qualquer uma das condições corporais, ambientais ou intersubjetivas provocam respostas do sistema

como um todo. Nesta visão, em vez de representar ou computar informações, o cérebro é mais bem concebido como participante da ação.

Quando se trata de um sistema enativo, mudanças nas reações psicofisiológicas dos participantes, que supostamente representam reações implícitas e inconscientes da mente, determinam as mudanças feitas no sistema em tempo real (KAIPAINEN *et al.*, 2011).

Em computação, de acordo com Hayashi e Baranauskas (2017), sistemas enativos, usuário e sistema são dinamicamente influenciados um pelo outro. Kaipainen *et al.* (2011) explica que um sistema de enatividade é constituído por processos humanos e tecnológicos dinamicamente acoplados, isto é, uma incorporação dinâmica de tecnologia mental.

Com a abordagem enativa surge a possibilidade de avanços tecnológicos incríveis, possibilitado pela substituição do *design* orientado por tarefas pela modelagem cognitiva. Brooks (apud VARELA; THOMPSON; ROSCH, 2016) afirma que a abordagem mencionada abre caminho para a construção de robôs completamente autônomos, agentes móveis que coexistem no mundo com seres humanos, e são vistos por esses seres humanos como seres inteligentes por si mesmos.

Segundo Kroeff, Gavilon e Maraschin (2016), os desafios para o tema de sistemas enativos se dão pelo fato da abordagem enativa ser constituída a partir de uma proposta tradicionalmente transdisciplinar. Esta proposta reúne um conjunto de ideias referentes ao estudo da emergência de sistemas autônomos, a produção de sentidos compartilhados e ao caráter incorporado da experiência. Outro ponto destacado é que, ao considerar a enatividade, os estudos dos processos cognitivos se tornam mais relevantes. Tais estudos abordam fenômenos complexos e de difícil teorização. Moore (2016) enfatiza que a dificuldade encontrada ocorre, pois, os campos paralelos da ciência cognitiva e dos sistemas cognitivos não possuem uma metodologia unificadora para descrever, compreender, simular e implementar comportamentos cognitivos avançados. Além disso, segundo Schmid *et al.* (2011), muitas dificuldades enfrentadas pelos pesquisadores desta área decorrem da complexidade das entidades que estão sendo estudadas.

A possibilidade do uso de *soft ontologies* em estudos relacionados ao desenvolvimento de sistemas enativos, de metodologias da ciência cognitiva e dos

sistemas cognitivos, bem como novas tecnologias da *Web* Semântica são fatores motivacionais nas atividades desenvolvidas nessa dissertação.

A próxima subseção apresenta a linguagem padrão para descrição de recursos *web*, na proposta da *web* semântica.

2.2 *RDF (Resource Description Framework)*

Sobre linguagens de descrição de ontologias, Catarino e de Souza (2012, p. 86) afirmam que "a base da *web* semântica é a representação descritiva dos recursos a partir de um modelo em que os registros de metadados são representados por um conjunto de declarações [...]".

A RDF foi originalmente projetada pelo W3C. Ela é considerada um elemento fundamental da *web* semântica, uma vez que está relacionada com a representação descritiva dos recursos da *web*.

O *World Wide Web Consortium* (2014A) define que o *Resource Description Framework* (RDF) é uma estrutura para representar informações na *web*. A estrutura central do modelo de dados é um conjunto de triplas, cada uma consistindo em um sujeito, um predicado e um objeto.

De acordo com Catarino e Souza (2012), essa simples estrutura de triplas tem um desafio, que não é apenas do RDF mas sim de toda a *web*, definir um identificador (*identifier*) único para cada recurso disponível. Na *web*, a solução é o URI (*Uniform Resource Identifiers*), um dos alicerces do RDF.

Além do URI, o RDF é baseado na descrição dos recursos em termos de propriedades, ou seja, ele lida com os dados, suas propriedades e a relação entre eles, o que o torna uma especificação formal por metadados (SAHRAOUI; YOUCEF; OMAR, 2015).

Já o SPARQL é uma linguagem de consulta semântica projetada para consultar e manipular dados que estejam em conformidade com o modelo de dados RDF (Ducharme, 2013). Ele permite expor diversos conjuntos de dados por meio de uma interface padronizada comum.

Catarino e Souza (2012) afirmam que o modelo apresentado para a descrição de recursos RDF possibilita a representação dos metadados dos recursos *Web*, tais como título, autor, data de modificação de uma página da *web*, *copyright* e informações sobre licenças de documentos *web* ou informações sobre o compartilhamento. Assim como já apresentado pelo W3C, o autor completa dizendo que o RDF é um modelo de estrutura bastante simples no qual os recursos *web* podem ser descritos em triplas: *Subject/*Recurso, *Predicate/*Propriedade, *Object/*Valor, sendo*:*

- *Subject*: Qualquer coisa que pode conter um URI, ou seja, é o recurso a ser descrito na Internet;
- *Predicate*: é a propriedade desse recurso;
- *Object*: é o valor dessa propriedade ou de outro recurso.

Faye, Curé e Blin (2012) apontam que o RDF tem sido um formato de dados amplamente difundido para a *web* semântica. RDF é um formato de dados baseado em grafo não estruturado e auto descritivo, o que significa que os rótulos do grafo dentro do grafo descrevem os dados em si.

Um conjunto de triplas é chamado de grafo RDF. Um grafo RDF pode ser visualizado como um diagrama de nó e arco-dirigido, no qual cada trio é representado como um link "nó-arco-nó", conforme ilustrado na Figura 2. A declaração de uma tripla RDF diz que alguma relação, indicada pelo predicado, se mantém entre os recursos apresentados pelo sujeito e objeto (WORLD WIDE *WEB* CONSORTIUM, 2014A).

Figura 2 - Um grafo RDF com dois nós (*Subject* e *Object*) e a propriedade do recurso conectando-os (*Predicate*).

Fonte*:* Baseado em *World Wide Web Consortium* (2014A)

De acordo com Miller (1998 apud FERREIRA; SANTOS, 2013, p.15):

> O RDF pode utilizar-se da *Extensible Markup Language* - XML como sintaxe comum para o intercâmbio e o processamento de metadados.

> Utilizando-se da XML, o RDF impõe uma estrutura que proporciona a expressão não ambígua da semântica e, desse modo, possibilita a codificação, o intercâmbio e o processamento consistente de metadados padronizados.

Uma das grandes vantagens do RDF é sua extensibilidade por meio do uso de esquemas RDF, que podem ser integrados com o uso de *namespace* e URIs. A Figura 3 apresenta um exemplo de sintaxe RDF/XML (SAHRAOUI; YOUCEF; OMAR, 2015), que permite obter as informações do livro *Semantic Web for the Working Ontologist*, escrito por Dean Allemang em 5 de julho de 2011.

Figura 3 - Exemplo uso da sintaxe RDF/XML

```
<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF  xmlns:ss="http://workingontologist.org/"
xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-
syntax-ns#"
xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-
schema#">
<rdf:Description
rdf:about="http://www.amazon.fr/Semantic-Web-
Working-Ontologist-Effective/dp/0123859654/">
<ss:written_by
rdf:resource="http://www.cs.bu.edu/fac/allemang/"/
>
</rdf:Description>
<rdf:Description
rdf:about="http://www.amazon.fr/Semantic-Web-
Working-Ontologist-Effective/dp/0123859654/">
<ss:hasTitle >Semantic Web for the Working
Ontologist </ss:hasTitle >
</rdf:Description>
<rdf:Description
rdf:about="http://www.amazon.fr/Semantic-Web-
Working-Ontologist-Effective/dp/0123859654/">
<ss:hasDate >July 5, 2011 </ss:hasDate >
</rdf:Description>
</rdf:RDF>
```

Autor

Título

Data

Fonte: Baseado em Sahraoui, Youcef e Omar (2015)

Apesar do RDF oferecer mecanismos para a representação das informações da *web*, o imenso volume de dados disponíveis ainda é um desafio. Para que os mecanismos de busca semântica executem suas funções de maneira eficiente, precisa-se ainda de recursos que permitam a indexação das informações disponíveis para consulta.

2.3. Lógica *Fuzzy*

Também conhecida como lógica difusa ou nebulosa vem sendo discutida na matemática desde os anos 20, passando a ser considerada uma possibilidade em implementações computacionais em meados dos anos 60/70.

Segundo Ahlawat, Gautam e Sharma (2014), a lógica *fuzzy* é uma forma de lógica de muitos valores e lida com raciocínios que são mais aproximados do que fixos e exatos. Em comparação com variáveis lógicas binárias tradicionais, as variáveis lógicas difusas podem ter um valor de verdade que varia em grau entre 0 e 1.

Esse tipo de lógica suporta formas de raciocínio que não são exatas, ao atribuir valores aproximados. Existem várias possibilidades de aplicação, entre elas analisadores léxicos para evitar plágios (EZZIKOURI *et al.*, 2018); verificação de tendências nas redes sociais (PRAKOSO; MURFI; WIBOWO, 2018); seguranças para evitar acidentes (HONG-QIAO *et al.*, 2018), entre outras aplicações.

Percebe-se então, que esse tipo de lógica permite lidar com entradas que podem variar entre algo totalmente verdadeiro ou totalmente falso, ou seja, é ideal para situações onde os valores não são exatamente quantificáveis.

2.3.1 Ontologias *Fuzzy*

Antes de definir especificamente ontologias *fuzzy*, é importante relembrar que as ontologias são utilizadas para representação de conhecimento em diversos domínios de aplicação. De acordo com Parry (2004), quando pretende-se criar uma ontologia, seu construtor enfrenta um paradoxo essencial; aumentando a adequação de uma ontologia para uma parte específica de um domínio, a cobertura da ontologia diminui e seu uso como ferramenta de comunicação diminui à medida que o público potencial se torna mais especializado. Desta maneira, pode-se perceber que uma ontologia que expressa perfeitamente a compreensão de uma pessoa sobre o mundo é inútil para qualquer outra pessoa com uma visão diferente do mundo.

Parry (2004) ainda define que uma ontologia *fuzzy* é baseada na modificação de uma ontologia nítida existente. Já um valor na ontologia *fuzzy*, pode ser usado para identificar a localização mais provável na ontologia de um termo específico.

Unindo os conceitos anteriormente apresentados, Yaguinuma, Santos e Biajiz (2007) ressaltam que ontologias *fuzzy* podem ser aplicadas para realizar consultas semânticas que retornem resultados considerando conceitos imprecisos e variações na intensidade dos relacionamentos do domínio modelado. Isso permite verificar quais resultados são mais relevantes e quais são menos relevantes.

Considerando que, no mundo real, a ambiguidade e a incerteza da informação expressam o conhecimento difuso, fazendo uso de ontologias *fuzzy*, tem-se duas vantagens: (1) a primeira é melhorar o conceito de descrição formal por meio da ontologia; a outra (2) é ajudar a descrever e lidar com informações difusas em muitos campos de aplicação. Assim, a ontologia *fuzzy* pode extrair algumas informações úteis da fonte de dados, e esse processo de extração pode ser construído automaticamente sem a participação humana (SHAO, 2017).

Já uma folksonomia, como descrita anteriormente, é uma taxonomia gerada pelo usuário e usada para categorizar e recuperar conteúdo da *web*, como páginas, fotografias e links da *web*, usando rótulos definidos pelo usuário chamados de *tags*. Segundo Echarte *et al.* (2009), um dos principais fatores de sucesso das folksonomias é sua simplicidade de uso. No entanto, essa facilidade de uso também tem algumas desvantagens importantes. Sua principal desvantagem está relacionada à ausência de qualquer estrutura a priori entre *tags*.

Nos últimos anos, tem havido um número crescente de trabalhos de pesquisa tentando reduzir variações sintáticas na busca de melhorar a qualidade das folksonomias e permitir identificar as conceituações compartilhadas escondidas nelas. Embora várias abordagens tenham sido propostas para trazer estrutura às folksonomias, elas não vêm sem limitações, apresentando frequentemente problemas de ambiguidade e de similaridade entre *tags* (ZAHIA; MOHAMED, 2013).

De acordo com Shih, Yang e Tseng (2011) folksonomias são organizados em uma estrutura plana, que consiste em várias categorias nomeadas por *tags* definidas pelo usuário. Essa organização plana é adequada para os usuários gerenciarem suas preferências. No entanto, quando o tamanho dos repositórios se torna cada vez maior, uma organização hierárquica se torna a melhor opção para organizar o conteúdo.

Para preencher a lacuna entre as estruturas de folksonomias e ontologias, Shih, Yang e Tseng (2011) propõem o uso de uma folksonomia *fuzzy*. Aqui se faz uso de um índice construído a partir de folksonomias existentes de acordo com a similaridade entre *tags* e uma representação *fuzzy* para resolver problemas de muitas incertezas envolvidas na criação de um índice de folksonomias. Neste caso, a principal dificuldade enfrentada

foi escolher uma função de similaridade que atendesse aos requisitos dos problemas apresentados na pesquisa.

Zahia e Mohamed (2013) também propõem o uso de folksonomia *fuzzy*. Os autores exploram o poder de agregação *fuzzy* usando similaridade e medida de generalidade para extrair estruturas ontológicas de sistemas colaborativos de marcação. O processo tenta minimizar problemas de ambiguidade por meio de limpeza de *tags*, a análise de similaridade entre *tags*, o agrupamento de *tags* com base nas informações de similaridade e, finalmente, a definição de hierarquias de *tag* com base nas medidas de generalidade e similaridade propostas.

2.3.2 RDF *Fuzzy*

Como destacado anteriormente, o RDF, juntamente com o RDF-Schema, são importantes padrões da *web* semântica. De acordo com World Wide *Web* Consortium (2014B), com as construções do modelo de dados RDF, pode-se descrever inter-relações entre recursos em termos de propriedades e valores nomeados. As propriedades capturam os atributos de um recurso ou relacionamentos binários entre recursos. A definição desses atributos/relacionamentos e sua semântica é realizada por meio do RDF-Schema. RDF e RDF-Schema expressos na teoria básica do modelo RDF especificam semântica descritiva de maneira padronizada e interoperável por meio de uma infraestrutura baseada em XML.

Quando se trata de dados precisos, o RDF trabalha muito bem, ou seja, as informações descritas no RDF são consideradas absolutamente precisas e não há incerteza envolvida. Porém, em muitos casos, o mundo real é cheio de incertezas e uma boa linguagem de representação de conhecimento deve ser similarmente aplicável mesmo em um ambiente "difuso" (LV; MA; YAN,2008).

Conforme Mazzieri (2004), na *web* semântica existe a necessidade de tratar dados difusos em dois níveis diferentes. Primeiro, existem dados da vida cotidiana e classificações vagas: pessoas idosas (por idade), mercadorias pesadas (por peso), entre outros. O segundo nível está mais ligado à própria natureza da *web* semântica: a gestão prática de bases de conhecimento semântico necessita de classificações que são difusas por natureza, tais como: a classificação das fontes de informação como confiáveis; ou a classificação dos dados como confiável. Como alternativa para representar completamente

os dados difusos, Mazzieri (2004) aponta que precisamos de uma extensão sintática e semântica do RDF.

Com a intenção de manter a padronização e interoperabilidade oferecidos pelo RDF, pesquisadores vêm buscando alternativas para permitir que o RDF possa trabalhar com dados difusos com desempenho aceitável. De maneira geral, as propostas envolvem a associação da lógica *fuzzy* com a estrutura de dados RDF, inclusão de dados ou campos adicionais ao modelo, ou ainda a modificações do RDF tradicional para a representação de dados imprecisos. A seguir serão apresentas algumas das propostas de adaptação do RDF.

Vaneková *et al.* (2005), por exemplo, estudou a possibilidade de combinar os princípios da lógica *fuzzy* com a estrutura de dados RDF. Foi projetado um novo método para representar predicados difusos em RDF. O foco deste trabalho foi mais voltado para o estudo da possibilidade de combinar os princípios da lógica *fuzzy* com a estrutura de dados RDF do que para a extensão *fuzzy* da sintaxe e semântica do modelo RDF.

Já Mazzieri (2004) propôs uma extensão sintática e semântica do modelo RDF para representar dados difusos. A sintaxe adiciona a cada triplo um valor de verdade. A semântica para *Fuzzy* RDF e *Fuzzy* RDF Schema permite atribuir valores de verdade também para instruções derivadas. A proposta feita pelo autor não tem como objetivo tornar-se uma extensão padrão para RDF / RDFS simples. Ele foi pensado para ser usado apenas dentro das aplicações. Usando regras, a semântica extra pode convertida, permitindo que os dados que antes eram difusos, possam ser transferidos como RDF padrão.

Mazzieri e Dragoni (2010) apresentam uma revisão e extensão da teoria do modelo *RDF fuzzy* proposto por Mazzieri (2004). Mazzieri e Dragoni (2010) parte da sintaxe RDF e da teoria dos modelos e desenvolvem uma nova teoria com o objetivo de tornar mínima a quantidade de mudanças necessárias. Embora triplas RDF não modificadas possam ser interpretadas de acordo com a nova semântica, é necessária uma sintaxe estendida para armazenar valores de associação *fuzzy*.

Uma abordagem comparável, o RDF Anotado (aRDF), que se baseia na lógica anotada, é proposta por Udrea, Recupero e Subrahmanian (2006). Os autores também propõem uma extensão do RDF que, em essência, um triplo aRDF consiste em um triplo RDF comum junto com uma anotação (membro de) de grupo. É apresentada a semântica

declarativa formal, da teoria dos modelos para RDF anotados proposta, juntamente com algoritmos para verificar a consistência das teorias e para responder a consultas de aRDF.

A lógica anotada é um formalismo que foi aplicado a uma variedade de situações na representação do conhecimento, sistemas de banco de dados especializados, raciocínio quantitativo e bancos de dados híbridos. Como um formalismo de conhecimento da representação, a lógica anotada pode ser aplicada ao raciocínio sob incerteza, conhecimento incompleto e contraditório. A característica distintiva da lógica anotada é a incorporação de nomes nos valores de verdade diretamente na linguagem da lógica e assume-se que os valores de verdade subjacentes formam uma rede completa (LEACH; LU, 1996).

Lv, Ma e Yan (2008) apresentam um modelo de dados *RDF fuzzy* que inclui a sintaxe *RDF fuzzy* e a semântica *RDF fuzzy*. A sintaxe *RDF fuzzy* apresentada consiste em um grafo *RDF fuzzy* e uma sintaxe RDF/XML *fuzzy*. A semântica de *RDF fuzzy* é composta pela interpretação *fuzzy* e implicação *fuzzy* em regras simples, RDF, RDFS e domínio, que indica a semântica do conjunto de recursos e o intervalo de uma relação, bem como regras de vinculação RDFS *fuzzy*. No modelo de dados proposto pelos autores, o *RDF fuzzy* amplia o RDF clássico, permitindo a representação de dados imprecisos ou vagos na *web* semântica. Os trabalhos citados exploram possibilidades de adaptação do modelo de dados RDF para uso com dados difusos, a lógica envolvida na proposta, regras de aplicação do RDF *fuzzy*, bem como exemplos e resultados, sempre são apresentados pelos autores.

A seguir é apresentado um exemplo de grafo e RDF/XML *Fuzzy* sugeridos por Lv, Ma e Yan (2008):

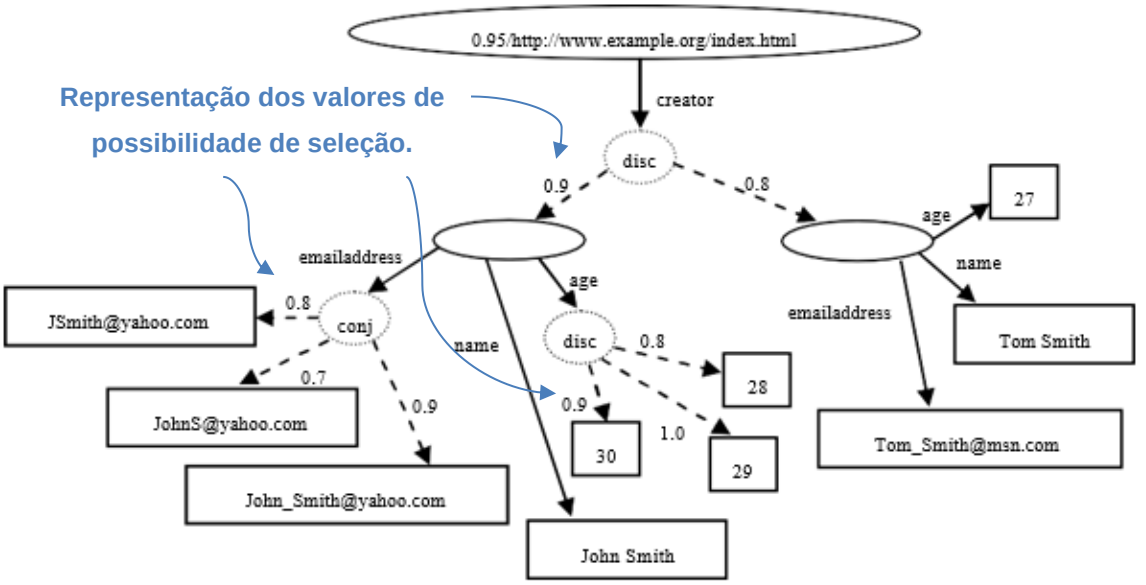
- **Grafo *RDF fuzzy*:** Suponha que não se sabe se a página da *web* "http://www.example.org/index.html" é válida e é atribuído o valor de *0,95* à possibilidade de a página ser incluída no recurso da *web*. O valor do criador da página da *web* "http://www.example.org/index.html" representado por uma distribuição de possibilidade disjuntiva significa que o criador é John Smith ou Tom Smith, com possibilidade de *0,9* e *0,8*, respectivamente.

  Quanto a John Smith, os valores no endereço de e-mail e na idade das propriedades são difusos. Para ele ter vários endereços de e-mail disponíveis simultaneamente, o valor do endereço de e-mail é representado por uma

distribuição de possibilidade conjunta para "JSmith@yahoo.com" com possibilidade *0,8*, "JohnS@yahoo.com" com possibilidade *0,7* e "John_Smith@yahoo.com com possibilidade *0,9*. Mas para o valor da idade da propriedade, é um número único, inteiro e não negativo, portanto é representado por uma distribuição de possibilidade disjuntiva: {*0,8* → *28*, *1,0* → *29*, *0,9* → *30*}. Quanto a Tom Smith, os valores em todas as propriedades são nítidos, bem como o valor no nome da propriedade para John Smith.

O grafo *RDF fuzzy* é apresentado na Figura 4. Qualquer um dos nós em branco tem um papel duplo que é tanto um objeto quanto um assunto. Nesse caso, o nó em branco pode ser tratado como um objeto.

Figura 4: Exemplo de grafo *RDF fuzzy*.



Fonte: Baseado em Lv, Ma e Yan (2008).

- **RDF/XML *Fuzzy*:** Para os valores de atributos *fuzzy* dos elementos, existem dois tipos de distribuição de possibilidade: disjuntiva e conjuntiva. Um grau de associação, denominado *Deg*, que recebe um valor de *[0, 1]*, é aplicado junto com uma construção *fuzzy* chamada *Val* para especificar o grau de associação de um determinado elemento existente no documento XML. Outra construção *fuzzy* chamada *Dist* para especificar uma

distribuição de possibilidade. Normalmente, um elemento *Dist* possui vários elementos *Val* como filhos, cada um com uma possibilidade associada. Como temos dois tipos de distribuição de possibilidade, a construção *Dist* deve indicar o tipo de distribuição de possibilidade sendo disjuntiva ou conjuntiva.

A Figura 5 fornece um fragmento de documento RDF/XML com dados fuzzy correspondendo ao grafo.

Figura 5: Exemplo de RDF/XML *fuzzy*.

```
1. <?xml version="1.0"?>
2. <rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
3.   xmlns:dc="http://purl.org/dc/elements/1.1/"
4.   xmlns:exterms="http://www.example.org/terms/">
5.   <rdf:Description
6.     <Val Deg=0.95>
7.       rdf:about="http://www.example.org/index.html">
8.     </Val>
9.     < dc:creator rdf:nodeID="abc"/>
10.  </rdf:Description>
11.  <rdf:Description rdf:nodeID="abc">
12.    <Dist type ="disjunctive">
13.      <Val Deg=0.9>
14.        <exterms:name> John Smith</exterms:name>
15.        <exterms:age>
16.          <Dist type ="disjunctive">
17.            <Val Deg = 0.8>28</Val>
18.            <Val Deg = 1.0>29</Val>
19.            <Val Deg = 0.9>30</Val>
20.          </Dist>
21.        </exterms:age>
22.        <exterms:emailaddress
23.          <Dist type = "conjunctive">
24.            <Val Deg=0.8>rdf:resource=" JSmith@yahoo.com"/></Val>
25.            <Val Deg=0.9>rdf:resource=" John_Smith@yahoo.com"/></Val>
26.            <Val Deg=0.7>rdf:resource=" JohnS@msn.com"/></Val>
27.          </Dist>
28.        <exterms:emailaddress
29.      </Val>
30.      <Val Deg=0.8>
31.        <exterms:name> Tom Smith</exterms:name>
32.        <exterms:age>27</exterms:age>
33.        <exterms:emailaddress rdf:resource="Tom_Smith@msn.com"/>
34.      </Val>
35.    </Dist>
36.  </rdf:Description>
37.</rdf:RDF>
```

Representação dos valores fuzzy identificados no grafo da Figura 4.

Fonte: Baseado em Lv, Ma e Yan (2008).

Considere a linha 6 *<Val Deg=0.95>*, onde é declarado que a possibilidade de a página da *web* "http://www.example.org/index.html" ser um recurso RDF é igual a *0,95*. Para um elemento com possibilidade *1.0*,

o par <*Val Deg=1.0*> e <*/Val*> é omitido do documento RDF/XML. O elemento disjuntivo *Dist* na linha 12 tem dois elementos *Val* como filhos nas linhas 13-29 e linhas 30-34, expressando a possibilidade de como criador para a página da *web* determinada, que é *0,9* para *John Smith* e *0,8* para *Tom Smith*, respectivamente. As linhas 16-20 são a construção disjuntiva *Dist* para a idade de *"John Smith"*. As linhas 23 a 27 são a construção conjuntiva *Dist* para o endereço de e-mail de *"John Smith"*.

3. Trabalhos Relacionados

Este capítulo tem o objetivo de apresentar trabalhos anteriores relacionados à linha de pesquisa proposta para a presente dissertação: "Uma Proposta de *Soft ontologies*, baseada em *RDF fuzzy*, para Sistemas Enativos". Para tanto, foram realizadas duas revisões sistemáticas independentes, sendo definidos como temas das revisões: (1) *soft ontologies* e (2) *RDF fuzzy*.

A revisão sistemática pode ser definida como uma síntese dos resultados de pesquisas relacionados com um tema específico. De acordo com Sampaio e Mancini (2007), as revisões sistemáticas foram projetadas para serem metódicas, explícitas e passíveis de reprodução. Esse estudo serve para nortear o desenvolvimento de projetos, indicar futuras investigações e identificar quais métodos de pesquisa foram utilizados em uma área.

As revisões apresentadas neste capítulo estão baseadas na metodologia de revisão sistemática sugerida por Kitchenham (2004), em que o processo é dividido em três fases: Planejamento, Execução e Controle.

3.1 Estudos de *Soft Ontologies*

Para esta análise, realizou-se uma revisão sistemática em 5 bases científicas, que resultaram em 22 trabalhos relacionados, sendo 19 incluídos e 3 excluídos. A subseção 3.1.1 apresenta o planejamento esta pesquisa, a subseção 3.1.2 detalha o levantamento dos trabalhos relacionados e a subseção 3.1.3 analisa os resultados da pesquisa.

3.1.1 Planejamento da revisão sobre s*oft ontologies*

Como primeiro passo foi estabelecida a seguinte questão a ser respondida por esta revisão: **"*Como as soft ontologies vem sendo construídas e utilizadas para ampliar o potencial de aplicação de ontologias na análise e representação de um domínio de conhecimento não nítido e determinístico?*"**

Desta maneira, foram identificadas as questões complementares detalhadas a

seguir:

Q1. *Quais técnicas vêm sendo utilizadas na construção de soft ontologies?*

Q2. *Quais trabalhos foram feitos com o objetivo de formalizar ou ampliar o entendimento do conceito de soft ontologies?*

Q3. *A partir da formalização do conceito de soft ontologies, quais sub-conceitos, de soft ontologies, foram apresentados?*

Q4. *Quais artigos abordam o uso de soft ontologies como ferramenta na solução de um dado problema?*

Na Tabela 3 encontram-se os parâmetros definidos para a pesquisa, incluindo a estratégia de pesquisa, as bases de dados e as palavras chaves utilizadas.

Tabela 3 - Parâmetros da Pesquisa de *Soft ontologies*

Parâmetro	Descrição
Estratégia	Artigos de 2009 a 2019 publicados em revistas e congressos, em inglês ou português.
Fontes de pesquisa	ACM DL, IEEE Xplore, SpringerLink, Science Direct e Google Acadêmico
Palavras-chave	"*soft ontology*" e "*soft ontologies*" (plural)

Para obter a seleção preliminar dos trabalhos foram realizadas três ações, sendo: (1) definição das *strings* de busca, (2) execução das buscas e (3) seleção preliminar dos trabalhos.

A construção da *string* de busca foi feita a partir dos termos chaves utilizando-se o operador lógico *"or",* e respeitando as particularidades de busca de cada base selecionada. Dado o foco desta revisão em *soft ontology* e a inexistência de termos com o mesmo significado (sinônimos), foram utilizadas apenas as seguintes palavras chaves na *string* de busca principal:

"*soft ontology*" OR **"*soft ontologies*"**

Após a realização das buscas iniciais, foi necessário refinar a pesquisa utilizando critérios de inclusão e exclusão. Conforme apresenta a Tabela 4, aplicados a partir da leitura do **Título, Palavras Chave** e **Resumo** de cada artigo. Uma vez atendidos os critérios de inclusão, o artigo foi selecionado como **estudo primário** para leitura completa.

Tabela 4 - Critérios de seleção da revisão sistemática de *soft ontologies.*

Critério	ID	Descrição
Inclusão	I1	Considerar pesquisas que envolvam técnicas para construção de *soft ontologies.*
	I2	Avaliar trabalhos que foram feitos com o objetivo de ampliar o entendimento do conceito de *soft ontologies*.
	I3	Considerar estudos que apresentam sub-conceitos relacionados à *soft ontologies*.
	I4	Considerar artigos em que *soft ontologies* são ferramentas para uma solução
Exclusão	E1	Artigos com idiomas diferentes do Inglês e do Português
	E2	Artigos do mesmo título, tema e autor, em diferentes bases
	E3	Artigos que possuam apenas título e resumo, sem corpo
	E4	Artigos que exploram teorias e aplicações de ontologias *web* não flexíveis (rígidas ou tradicionais)

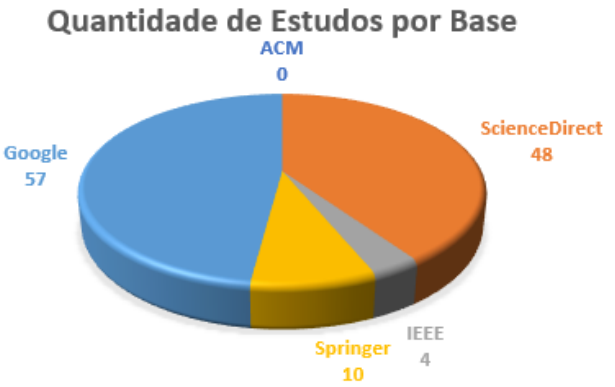
Aos **Critérios de Inclusão** foram ainda atribuídos pesos de relevância baseado na abordagem de *soft ontology* para o artigo. Os pesos de cada critério de inclusão são definidos como:

- **I1** (técnicas para construção de *soft ontologies*) – **Peso 4**;
- **I2** (objetivo de ampliar o entendimento do conceito) – **Peso 1**;
- **I3** (apresentam sub-conceitos) – **Peso 3**;
- **I4** (*soft ontologies* são ferramentas para uma solução) – **Peso 2**;

3.1.2 Execução da Revisão sobre *Soft ontologies*

A pesquisa inicial retornou 119 trabalhos. A quantidade de trabalhos em cada fonte de pesquisa pode ser observada na Figura 6.

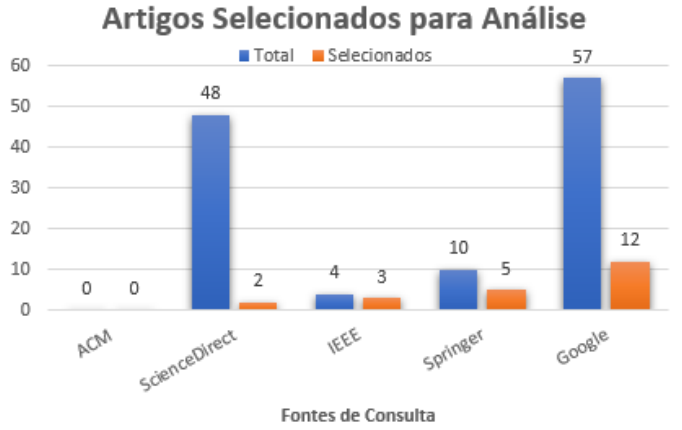
Figura 6 - Total estudos por base.



A partir do resultado da pesquisa inicial e da leitura do **título** e **resumo** de cada artigo, foi possível selecionar **22 estudos primários.** A Figura 7 apresenta o total de

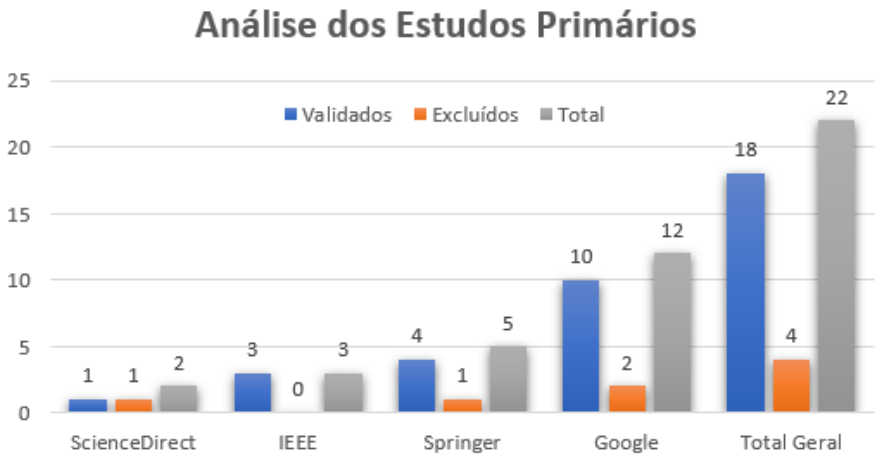
artigos em cada base e artigos selecionados para a serem analisados, de acordo com os critérios de seleção apresentados na Tabela 3.

Figura 7 - Artigos selecionados para análise por fonte de pesquisa.



Após a leitura completa dos 22 artigos selecionados como estudos primários, foram identificados **4 artigos** que não atenderam aos critérios de seleção, e portanto, não foram enquadrados nesta revisão sistemática. A Figura 8 apresenta um comparativo da quantidade de artigos analisados em cada base.

Figura 8 - Comparativo da quantidade de artigos analisados por base de pesquisa.



Os **18 estudos** classificados como válidos para a pesquisa e os respectivos critérios aplicados em cada artigo encontram-se na Tabela 5. A tabela foi organizada da seguinte maneira: **Título do artigo**, **Ano** de publicação, **Fonte** de pesquisa, **Autores** do artigo, Critérios de inclusão (**CI**) aplicados para sua seleção e Relevância (**R**) do artigo baseado no critério que o incluiu.

Tabela 5 - Resultado da pesquisa e aplicação dos Critérios de Seleção.

Título do Artigo	Ano	Fonte	Autores	CI	R
A Metamodel for Supporting Interoperability in Heterogeneous Ontology Networks	2018	Springer	BONACIN, Rodrigo; CALADO, Ivo; DOS REIS, Julio Cesar	I1 e I4	5
Two-Fold Service Matchmaking – Applying Ontology Mapping for Semantic Web Service Discovery	2009	Springer	DIETZE, Stefan *et al.*	I4	1
An evolving museum metaphor applied to cultural heritage for personalized content delivery	2019	Springer	RAJAONARIVO, Landy; MAISEL, Eric; DE LOOR, Pierre	I1	4
A Framework for Motion Based Bodily Enaction with Virtual Characters	2011	Springer	PUGLIESE, Roberto; LEHTONEN, Klaus.	I3	2
A top-level ontology for smart environments	2011	Science Direct	YE, Juan; STEVENSON, Graeme; DOBSON, Simon.	I3	2
Exploring Ontologies to Improve the Empathy of Interactive Bots	2018	IEEE	JUSTO, Andrey Victor *et al.*	I4	1
Case-Based Learning, Pedagogical Innovation, and Semantic Web Technologies	2011	IEEE	MARTINEZ-GARCIA, Agustina *et al.*	I4	1
Ontology Alignment in Geographical Hard - Soft Information Fusion Systems	2010	IEEE	BLASCH, Erik P. *et al.*	I4	1
Bridging between sensor measurements and symbolic ontologies through conceptual spaces	2009	Google	DIETZE, Stefan; DOMINGUE, John.	I2	1
Practical Experiences for the Development of Educational Systems in the Semantic Web	2013	Google	VERA, Mª Sánchez *et al.*	I2 e I4	3
Formal Ontologies and Uncertainty. In Geographical Knowledge	2014	Google	CAGLIONI, Matteo; FUSCO, Giovanni.	I2	1
Perspective-relative narrative media and power	2010	Google	KAIPAINEN, Mauri.	I3	3
Spatial Groundings for meaningful Symbols	2009	Google	DIETZE, Stefan; TANASESCU, Vlad.	I3	3
Navigating story ontospace: Perspective-relative drive and combinatory montage of cinematic contente	2014	Google	Pugliese, R., Tikka, P., Kaipainen, M.	I3	3
"Enactive Systems and Enactive Media: Embodied human - machine coupling beyond interfaces	2011	Google	KAIPAINEN, Mauri *et al.*	I3	3
Epistemic Pluralism and Multi-Perspective Knowledge Organization: Explorative Conceptualization of Topical Content Domains	2011	Google	KAIPAINEN, Mauri; HAUTAMÄKI, Antti.	I1 e I2	5
Blending the physical and the digital through conceptual spaces	2009	Google	DIETZE, Stefan *et al.*	I2	1
Points of View: A Conceptual Space Approach	2016	Google	HAUTAMÄKI, Antti.	I3	3

A Tabela 6 apresenta qual abordagem relacionada à *soft ontology* cada artigo selecionado utilizou. De maneira geral, os trabalhos mencionavam, direta ou indiretamente, o uso de *soft ontologies* (**SO**) como ferrramenta. Para tanto, são formalizandos seus conceitos, apresentam técnicas para sua construção ou aborda sub-conceitos relacioandos às *soft ontologies*.

Tabela 6 - Abordagem dos artigos às *soft ontologies*.

Título do Artigo	**Termo "SO"**	**Abordagem à *soft ontology***
A Metamodel for Supporting Interoperability in Heterogeneous Ontology Networks	Mencionado diretamente	O artigo propõe um meta-modelo que permite o uso de uma rede de ontologias, obtendo interoperabilidade entre os modelos. Aqui *soft ontology* foi usado como um dos modelos testados para validação do meta-modelo.
Two-Fold Service Matchmaking – Applying Ontology Mapping for Semantic Web Service Discovery	Mencionado diretamente	Artigo propõe o uso de *soft ontologies* como alternativa para computação de similaridade entre representações simbólicas de Serviços *Web* semânticos.
An evolving museum metaphor applied to cultural heritage for personalized content delivery	Não mencionado diretamente	Propõe um sistema enativo, fazendo uso de uma ontologia, que se adapta a partir da interação do usuário. Utiliza medidas objetivas do comportamento do sistema e uma avaliação subjetiva que permite a confirmação de que as interpretações do sistema sobre o usuário estão corretas. Para o cálculo de relevância o sistema avalia três itens: relevância da proximidade do usuário (peso dado aos diferentes conceitos consultados pelo usuário durante a pesquisa), relevância de proximidade interativa (associa marcadores com as arestas que constituem o caminho entre dois conceitos consultados sucessivamente pelo usuário) e relevância de proximidade semântica (considera que, se um conceito é relevante, conceitos semanticamente próximos a ele podem ser relevantes).
A Framework for Motion Based Bodily Enaction with Virtual Characters	Não mencionado diretamente	Empresta a abordagem da ontologia espacial (*ontospace*) e dimensões ontológicas (ontodimensões) de Kaipainen para propor um sistema que simula uma situação em que duas pessoas (uma real e outra virtual) capazes de interagir apenas por meio de movimentos corporais, em um loop enativo.
A top-level ontology for smart environments	Não mencionado diretamente	Artigo faz uso de conceitos ligados a *soft ontologies* para a criação de um modelo ontológico de alto nível. Esse modelo captura de maneira uniforme a semântica inerente que diferentes tipos de domínios de conhecimento compartilham, dando apoio à comunicação, reutilização e compartilhamento de ontologias entre sistemas.
Exploring Ontologies to Improve the Empathy of Interactive Bots	Mencionado diretamente	Para o funcionamento de um Bot, os autores propõem o uso de uma rede de ontologias para que se possa interagir de várias maneiras com vários domínios de conhecimento. Neste caso, uma das alternativas de ontologia que compopõe a rede é a *soft ontology*.
Case-Based Learning, Pedagogical Innovation, and Semantic Web Technologies	Mencionado diretamente	Não se desenvolveu nenhuma tecnologia, mas sim se explorou as combinações e convergências de tecnologias (semânticas e outras); práticas e discursos pedagógicos; e os padrões existentes de inovação e, a partir disso, surgiu uma agenda de desenvolvimento tecnológico que tem o potencial de incentivar e apoiar essas inovações. Em relação às *soft*

		ontologies, identificou-se que, graças à complexidade e imprevisibilidade dos domínios de conhecimento explorados (área educacional), as ontologias tradicionais eram frequentemente adaptadas, seletivamente usadas e mediadas por professores em ontologias mais "leves".
Ontology Alignment in Geographical Hard -Soft Information Fusion Systems	Mencionado diretamente	Propõe vinculação e alinhamento ontológico de informações para Sistemas de Informação Geográfica, que precisam lidar coma fusão de dados concretos (por exemplo, de sensores físicos) e dados subjetivos (por exemplo, de relatórios humanos) para interpretar observações de objetos do mundo real. São apresentados situações em que ontologias *hard* e *soft* atuam juntas, no entanto, apontam que é necessário equilibrar e coordenar a fusão de *soft ontologies* com a coleta de dados concretos. Em relação ao uso das *soft ontologies*, muitas questões ainda permanecem em aberto incluindo: (1) como lidar com incompatibilidade e incerteza de mapeamento em ontologias que é feito, (2) coordenação entre diferentes padrões de interoperabilidade e (3) como fundir automáticamente ontologias de ontologias *hard* e *soft*.
Bridging between sensor measurements and symbolic ontologies through conceptual spaces	Não mencionado diretamente	Trabalho apresenta sub-conceitos ligados a *soft ontologies*, como Espaços conceituais e ontodimenções. O artigo propõe um modelo representacional que fundamenta as representações ontológicas para fazer a ponte entre as representações do conhecimento simbólico e os dados medidos em uma rede de sensores, para aplicação: Serviços *Web* Semânticos baseada em medidas dos Serviços *Web* de Previsão do Tempo.
Practical Experiences for the Development of Educational Systems in the Semantic Web	Mencionado diretamente	Oferece uma análise do papel desempenhado pelas *hard* e *soft ontologies*, mostrando como elas podem ser usadas de diferentes maneiras. Além disso, apresenta a aplicação dos conceitos de *soft ontologies* no projeto educacional Ensemble (projeto de aprendizagem baseada em problemas). O projeto propõe o desenvolvimento de aplicações *web* semânticas, criando representações de conhecimento específicas extraídas das necessidades do usuário.
Formal Ontologies and Uncertainty. In Geographical Knowledge	Não mencionado diretamente	O artigo mostra como as ontologias formais precisam evoluir de um padrão nítido e determinístico (ontologias de *hard knowledge*) para um padrão mais flexível (ontologias de *soft knowledge*), em especial quando trata-se da representação de conhecimento baseado em incertezas. São apresentadas três famílias de ontologias (ontologias probabilísticas, ontologias *fuzzy* e ontologias possibilistas), que diferem da ontologia lógico-descritiva clássica, para melhor compreender suas principais características e suas vantagens na formalização de conhecimento. No artigo as ontologias nítidas são consideradas como um caso limitante de *soft ontologies*.
Perspective-relative narrative media and power	Não mencionado diretamente	Artigo faz uso de conceitos ligados a *soft ontologies* para a construção de uma espécie de mídia multi-perspectiva. Para tanto, discute um novo conceito de narrativa perspectiva-relativa e aponta a contribuição potencial de tal abordagem para o poder da mídia no discurso social e político. Os conceitos trabalhados são: *ontospace* e ontodimensões.
Spatial Groundings for Meaningful Symbols	Não mencionado diretamente	O artigo aborda questões relacionadas ao mapeamento de ontologias, já que a crescente disponibilidade de ontologias aumenta a necessidade de estabelecer relações e fazer inferências por meio de modelos de conhecimento heterogêneos. São duas novas abordagens que visam aliviar a falta de fundamentação de ontologias simbólicas, a fim de

		facilitar a integração de modelos de conhecimento heterogêneos. A primeira abordagem propõe um embasamento de ontologias em representações espaciais - como os Espaços Conceituais. A segunda considera entidades simbólicas como interpretações contextuais de processos no espaço-tempo ou diferenças. Ao se tornar um processo de interpretação, os símbolos adquirem o mesmo status de outros processos no mundo e podem ser descritos (marcados).
Navigating story ontospace: Perspective-relative drive and combinatory montage of cinematic content	Não mencionado	Baseado em um banco de dados de elementos narrativos e apoiados na teoria de *ontospaces*, o artigo oferece uma solução, por meio da associação de elementos de história com metadados, para narrativas livremente interativas, bem-formadas e que podem ser contadas (narradas) de múltiplas maneiras.
"Enactive Systems and Enactive Media: Embodied human-machine coupling beyond interfaces	Não mencionado diretamente	O artigo propõe o conceito de sistema enativo como uma alternativa aos sistemas de interação tradicionais e elabora a ideia de mediação de conteúdo por meio de mídia enativa. Além da fundamentação teórica de sistemas, mídias e mediação enativas, o artigo aponta que, para a implementação de recursos enativos, é necessário o uso de ontologias não estruturadas/fixas, ou seja, ontologias que possam ser dinamicamente atualizadas e reestruturadas. Os autores propõem o uso de *ontospaces* (incluindo ontodimensoes e ontocoordenadas).
Epistemic Pluralism and Multi-Perspective Knowledge Organization: Explorative Conceptualization of Topical Content Domains	Não mencionado diretamente	Não menciona diretamente *soft ontology*, porém o artigo aborda uma nova perspectiva de conceitos em sistemas computacionais onde a ontologia é dissociada do conceito e, em vez disso, a conceituação é deixada para a atividade epistêmica do usuário do sistema de informação. Apresenta um modelo espacial de ontologia (*ontospace*), nele um sistema de múltiplas dimensões descritivas, dentro do quais entidades de um domínio de informação são descritas em termos de suas respectivas coordenadas. Aqui a atividade de conceituação pode ser vista como uma exploração contínua de visões de perspectiva para a *ontospace*, baseada nos modelos de similaridade.
Blending the physical and the digital through conceptual spaces	Não menciona diretamente	O artigo explora o conceito de Espaços conceituais e ontodimenções para propor um modelo representacional que fundamenta as representações ontológicas, para fazer a ponte entre as representações do conhecimento simbólico e os dados coletados em uma rede de sensores, para aplicação: conexão entre dados de sensores e ontologias no domínio médico.
Points of View: A Conceptual Space Approach	Não mencionado	O artigo explora o conceito de *ontospaces* para propor um novo método para formalizar pontos de vista conceituais. Um conceito de ponto de vista é definido e desenvolvido no âmbito do espaço conceitual, e uma nova lógica para pontos de vista também é delineada.

3.1.3 Análise de Resultados

Para facilitar a análise de resultados foi elaborada uma tabela. A Tabela 7 cria uma referência abreviada aos artigos que foram analisados (um subconjunto das referências desta dissertação).

Tabela 7 - Referência abreviada dos artigos selecionados sobre *Soft Ontologies*.

Título do Artigo	Ano	Autores	Referência
A Metamodel for Supporting Interoperability in Heterogeneous Ontology Networks	2018	BONACIN, Rodrigo; CALADO, Ivo; DOS REIS, Julio Cesar	(BONACIN; CALADO; DOS REIS, 2018)
Two-Fold Service Matchmaking – Applying Ontology Mapping for Semantic Web Service Discovery	2009	DIETZE, Stefan *et al.*	(DIETZE *et al.*, 2009a)
An evolving museum metaphor applied to cultural heritage for personalized content delivery	2019	RAJAONARIVO, Landy; MAISEL, Eric; DE LOOR, Pierre	(RAJAONARIVO; MAISEL; DE LOOR, 2019)
A Framework for Motion Based Bodily Enaction with Virtual Characters	2011	PUGLIESE, Roberto; LEHTONEN, Klaus.	(PUGLIESE; LEHTONEN, 2011)
A top-level ontology for smart environments	2011	YE, Juan; STEVENSON, Graeme; DOBSON, Simon.	(YE; STEVENSON; DOBSON, 2011)
Exploring Ontologies to Improve the Empathy of Interactive Bots	2018	JUSTO, Andrey Victor *et al.*	(JUSTO *et al.*, 2018)
Case-Based Learning, Pedagogical Innovation, and Semantic Web Technologies	2011	MARTINEZ-GARCIA, Agustina *et al.*	(MARTINEZ-GARCIA *et al.*, 2011)
Ontology Alignment in Geographical Hard - Soft Information Fusion Systems	2010	BLASCH, Erik P. *et al.*	(BLASCH *et al.*, 2010)
Bridging between sensor measurements and symbolic ontologies through conceptual spaces	2009	DIETZE, Stefan; DOMINGUE, John.	(DIETZE; DOMINGUE, 2009)
Practical Experiences for the Development of Educational Systems in the Semantic Web	2013	VERA, Mª Sánchez *et al.*	(VERA *et al.*, 2013)
Formal Ontologies and Uncertainty. In Geographical Knowledge	2014	CAGLIONI, Matteo; FUSCO, Giovanni.	(CAGLIONI; FUSCO, 2014)
Perspective-relative narrative media and power	2010	KAIPAINEN, Mauri.	(KAIPAINEN, 2010)
Spatial Groundings for meaningful Symbols	2009	DIETZE, Stefan; TANASESCU, Vlad.	(DIETZE; TANASESCU, 2009)
Navigating story ontospace: Perspective-relative drive and combinatory montage of cinematic contente	2014	Pugliese, R., Tikka, P., Kaipainen, M.	(PUGLIESE; TIKKA; KAIPAINEN, 2014)
"Enactive Systems and Enactive Media: Embodied human - machine coupling beyond interfaces	2011	KAIPAINEN, Mauri *et al.*	(KAIPAINEN *et al.*, 2011)
Epistemic Pluralism and Multi-Perspective Knowledge Organization: Explorative Conceptualization of Topical Content Domains	2011	KAIPAINEN, Mauri; HAUTAMÄKI, Antti.	(KAIPAINEN; HAUTAMÄKI, 2011)

Blending the physical and the digital through conceptual spaces	2009	DIETZE, Stefan *et al.*	(DIETZE *et al.*, 2009b)
Points of View: A Conceptual Space Approach	2016	HAUTAMÄKI, Antti.	(HAUTAMÄKI, 2016)

Na fase de análise dos resultados da revisão sistemática, foram analisados todos os artigos com objetivo de responder à questão principal de pesquisa, por meio da análise das 4 questões complementares conforme apresentado a seguir.

Q1. Quais técnicas vêm sendo utilizadas na construção de *soft ontologies*?

Observou-se que a maioria dos artigos desta revisão sistemática não apresentam técnicas para a construção de *soft ontologies*. O assunto foi mencionado explicitamente apenas em **3 artigos**:

Apesar do objetivo principal de Bonacin, Calado e Dos Reis (2018) seja a construção de um meta-modelo que permite o uso de uma rede de ontologias, obtendo interoperabilidade entre os modelos, utilizou-se *RDF fuzzy* para criar uma *soft ontology* usada como um dos modelos para validação da ferramenta proposta.

Rajaonarivo, Maisel e De Loor (2019) não mencionam diretamente o termo *soft ontology*, porém faz uso de uma ontologia que se adapta a partir da interação do usuário (*soft ontology*) para construção de um sistema enativo. Para o cálculo de relevância o sistema avalia três itens: relevância da proximidade do usuário (*i.e.*, peso dado aos diferentes conceitos consultados pelo usuário durante a pesquisa), relevância de proximidade interativa (*i.e.*, associa marcadores com as arestas que constituem o caminho entre dois conceitos consultados sucessivamente pelo usuário) e relevância de proximidade semântica (*i.e.*,considera que, se um conceito é relevante, conceitos semanticamente próximos a ele podem ser relevantes).

O termo *soft ontology* também não é mencionado diretamente em Kaipainen e Hautamäki (2011), porém o artigo aborda uma nova perspectiva de conceitos em sistemas computacionais onde a ontologia é dissociada do conceito e, em vez disso, a conceituação é deixada sob a responsabilidade dos conhecimentos dos usuários. Apresenta um modelo espacial de ontologia (*ontospace*), baseada nos modelos de similaridade, de múltiplas dimensões descritivas, dentro das quais entidades de um domínio de informação são

descritas em termos de suas respectivas coordenadas.

Adicionalmente, é destacado o trabalho de Lombello, Dos Reis e Bonacin (2019), publicado após a data de revisão. A abordagem de *RDF Fuzzy* foi utilizada para representar conceitos em situações que envolvem incerteza e mudanças constantes. Esse trabalho possui o mesmo embasamento tecnológico para o desenvolvimento de ontologias utilizado no sistema apresentado nesta dissertação, entretanto os autores não se aprofundam na proposta de uma arquitetura para apoio a decisão, como a apresentada nesta dissertação.

Q2. Quais trabalhos foram feitos com o objetivo de formalizar ou ampliar o entendimento do conceito de *soft ontologies*?

Apesar do assunto "*soft ontologies*" aparecer, mesmo que de maneira discreta, na seção de trabalhos relacionados de diversos artigos, após a revisão observou-se que apenas os artigos de Vera *et al.* (2013) e Caglioni e Fusco (2014) são focados em ampliar o entendimento do conceito.

Vera *et al.* (2013) apresenta o comparativo teórico e prático de *soft* e *hard ontologies*, abordando como o conhecimento é obtido e representado em cada caso.

Já Caglioni e Fusco (2014) mostra que, quando se trata da representação de um conhecimento baseado em incertezas, é necessário um padrão ontológico mais flexível (ontologias de *soft knowledge*). No artigo são apresentadas três famílias de ontologias, que se diferem das ontologias lógico-descritivas clássicas. Para melhor compreender suas principais características e suas vantagens na formalização de conhecimento são formalizadas as ontologias probabilísticas, ontologias *fuzzy* e ontologias possibilistas.

Q3. A partir da formalização do conceito de *soft ontologies*, quais subconceitos desse assunto foram apresentados?

Uma vez feita a análise, percebeu-se que conceitos de *ontospaces*, ontodimensões e, em alguns casos, ontocordenadas, foram apresentados nos artigos que foram classificados como "trabalhos que exploram subconceitos de *soft ontologies*". Esses subconceitos foram formalmente apresentados por Kaipainen (2008) e tem sido

frequentemente utilizados nos trabalhos que abordam o conceito de *soft ontologies*.

Em Kaipainen *et al.* (2011) e Pugliese e Lehtonen (2011) os subconceitos de *soft ontologies* estão sendo usados associados a sistemas enativos. (Kaipainen *et al.*, 2011) propõe o conceito de *ontospaces*, ontodimenções e ontocordenadas para sistemas enativos, elabora a ideia de mediação de conteúdo por meio de mídia enativa e defende o uso de ontologias que possam ser dinamicamente atualizadas e reestruturadas para que haja uma representação do conhecimento mais adequada. Pugliese e Lehtonen (2011) também exploram o conceito de *ontospaces* para propor um *framework* que permite a interação corporal entre um ser humano e um personagem virtual em um loop enativo. Os comportamentos são criados mapeando a *ontospace* de entrada do humano na *ontospace* de saída do personagem virtual, preenchida com movimentos avaliados automaticamente.

Ye, Stevenson e Dobson (2011) e Dietze e Tanasescu (2009) exploram o conceito de espaços conceituais para promover interoperabilidade ontológica de modelos diferentes. Em Ye, Stevenson e Dobson (2011) é proposto a criação de um modelo ontológico que capture de maneira uniforme semântica particular que diferentes tipos de domínios de conhecimento compartilham, dando apoio a comunicação, reutilização e compartilhamento de ontologias entre sistemas. Já Dietze e Tanasescu (2009) aborda questões relacionadas ao mapeamento de ontologias, a fim de facilitar a integração de modelos de conhecimento heterogêneos.

Subconceitos ligados a *soft ontologies*, como espaços conceituais e ontodimenções são utilizados para a construção de um modelo representacional que fundamenta as representações ontológicas para fazer a ponte entre as representações do conhecimento simbólico e os dados medidos coletados em uma rede de sensores nos artigos de Dietze e Domingue (2009) e Dietze *et al.* (2009b). A abordagem em ambos os trabalhos é muito semelhante, porém a aplicação se dá em casos de uso distintos. Em Dietze e Domingue (2009) a aplicação se dá para Descoberta de Serviços *Web* Semânticos baseada em medidas dos Serviços *Web* de Previsão do Tempo e em Dietze *et al.* (2009b) o caso de uso aplica-se a conexão entre dados de sensores e ontologias no domínio médico.

Nos trabalhos de Kaipainen (2010), Pugliese, Tikka e Kaipainen (2014), Kaipainen e Hautamäki (2011) e Hautamäki (2016) os conceitos de *ontospaces* e ontodimensões são usados para a construção de uma espécie de mídia multi-perspectiva em sistemas

computacionais. Kaipainen (2010) discute a contribuição positiva de tal abordagem para o poder da mídia no discurso social e político. Pugliese, Tikka e Kaipainen (2014), apoiado na teoria de *ontospaces*, oferece uma solução para narrativas livremente interativas e que podem ser contadas (narradas) de múltiplas maneiras. Kaipainen e Hautamäki (2011) aborda uma nova perspectiva de conceitos em sistemas computacionais onde, baseada em modelos de similaridade, a ontologia é influenciada pela atividade epistêmica do usuário. Por fim, Hautamäki (2016) propõe um novo método, desenvolvido no âmbito do espaço conceitual, para formalizar pontos de vista conceituais e delinear uma nova lógica para pontos de vista.

Q4. Quais artigos abordam o uso de *soft ontologies* como ferramenta na solução de um dado problema?

Respondendo à última questão complementar da revisão sistemática de *soft ontologies*, **6 artigos** apresentam o uso deste tipo de ontologia como recurso na solução de um determinado desafio.

Bonacin, Calado e Dos Reis (2018) usam *soft ontology*, além de *Ontology Chart* e OWL, para validar o meta-modelo que permite o uso de uma rede de ontologias, obtendo interoperabilidade entre os modelos ontológicos.

Dietze *et al.* (2009a) sugere o uso de *soft ontologies* como alternativa para calcular a similaridade entre representações simbólicas de serviços *web* semânticos visando a descoberta e orquestração automatizadas de serviços da *web* com base em descrições semânticas, interpretáveis por máquina.

Em Justo *et al.* (2018) propõe-se o uso de uma rede de ontologias para o funcionamento de um Bot que recebe e interpreta dados monitorados a partir do ambiente. Neste caso, uma das alternativas de ontologia para a rede ontológica é a *soft ontology*.

Nos trabalhos de Martinez-Garcia *et al.* (2011) e Vera *et al.* (2013) são apontados o uso de *soft ontologies* como ferramenta no desenvolvimento de tecnologias *web* semânticas na área educacional. O artigo de Martinez-Garcia *et al.* (2011) investigou as combinações e convergências de tecnologias (semânticas e outras) e os padrões existentes de inovação na pedagogia e, a partir disso, oferece uma agenda de desenvolvimento

tecnológico que tem o potencial de incentivar e apoiar essas inovações. Identificou-se que, graças à complexidade e imprevisibilidade do domínio de conhecimento explorado, as ontologias tradicionais eram frequentemente adaptadas, seletivamente usadas e mediadas por professores em ontologias mais flexíveis. Já Vera *et al.* (2013) apresenta o projeto educacional Ensemble (projeto de aprendizagem baseada em problemas), que propõe desenvolvimento de aplicações *web* semânticas, usando *soft ontologies*, criando representações de conhecimento específicas extraídas das necessidades do usuário.

Blasch *et al.* (2010) apresenta situações em que *hard* e *soft ontologies* atuam juntas para a vinculação e alinhamento ontológico de informações para Sistemas de Informação Geográfica. Esses sistemas precisam lidar coma fusão de dados concretos (por exemplo, de sensores físicos) e dados subjetivos (por exemplo, de relatórios humanos) para interpretar observações de objetos do mundo real. Em relação ao uso das *soft ontologies*, apontam que muitas questões em aberto ainda permanecem, como: (1) como lidar com incompatibilidade e incerteza de mapeamento em ontologias, (2) coordenação entre diferentes padrões de interoperabilidade e (3) como fundir automaticamente *hard* e *soft ontologies*.

3.2 Estudos de *RDF fuzzy*

Para esta análise, realizou-se uma revisão sistemática em 4 bases científicas, que resultaram em 33 trabalhos relacionados, sendo 21 incluídos como estudos primários e 12 excluídos. A subseção 3.2.1 apresenta o planejamento esta pesquisa, a subseção 3.2.2 detalha o levantamento dos trabalhos relacionados e a subseção 3.2.3 analisa os resultados da pesquisa.

3.2.1 Planejamento da Revisão sobre *RDF fuzzy*

Como primeiro passo, foi estabelecida a seguinte questão a ser respondida por esta revisão: **"*Quais técnicas vêm sendo utilizadas na inclusão de conceitos e lógica fuzzy ao modelo RDF, e sua adaptação para a representação de dados não exatos ou flexíveis?*"**

Desta maneira, foram identificadas as questões complementares detalhadas a seguir:

Q1. *Quais trabalhos propõem técnicas para a adaptação do RDF para "RDF fuzzy"?*

Q2. *Quais artigos apontam o uso do RDF fuzzy na a recuperação da informação?*

Na Tabela 8 encontram-se os parâmetros definidos para a pesquisa, incluindo a estratégia de pesquisa, as bases de dados e as palavras chaves utilizadas.

Tabela 8 - Parâmetros da Pesquisa de *RDF fuzzy*

Parâmetro	Descrição
Estratégia	Artigos de 2009 a 2019 publicados em revistas e congressos, em inglês ou português.
Fontes de pesquisa	ACM DL, IEEE Xplore, SpringerLink e Science Direct
Palavras-chave	"*RDF fuzzy* "

Para ampliar o resultado da pesquisa foram utilizados sinônimos, em inglês, das palavras-chave (Tabela 9).

Tabela 9 – Lista de sinônimos para a pesquisa de *RDF fuzzy*

Palavra-Chave	Termos selecionados para a pesquisa
RDF	*RDF, Resource Description Framework*
Fuzzy	*Fuzzy*

Para se obter a seleção preliminar dos trabalhos foram realizadas três ações: construção das *strings* de busca, realização das buscas e seleção preliminar dos trabalhos. A construção da *string* de busca foi feita a partir da combinação dos sinônimos sobre a *string* principal utilizando-se operadores lógicos “and” e “or”, e respeitando as particularidades de busca de cada base selecionada. Segue a *string* de busca principal:

("***RDF***" OR "***Resource Description Framework***") AND "***Fuzzy*** "

Uma vez realizadas as buscas, foi necessário refinar a pesquisa utilizando os critérios de inclusão e exclusão apresentados na Tabela 10, aplicados a partir da leitura do **Título, Palavras Chave** e **Resumo** de cada artigo. Uma vez atendidos os critérios de inclusão, o artigo foi selecionado como **estudo primário** para leitura na íntegra.

Tabela 10 - Critérios de Seleção

Critério	ID	Descrição
Inclusão	**I1**	Considerar pesquisas que envolvam técnicas utilizadas para adaptar o RDF como objetivo de criar um modelo "*RDF fuzzy*"
	I2	Avaliar trabalhos que apontam o uso do *RDF fuzzy* na a recuperação da informação.
Exclusão	**E1**	Artigos com idiomas diferentes do Inglês.
	E2	Artigos do mesmo título, tema e autor, em diferentes bases
	E3	Artigos que possuam apenas título e resumo, sem corpo
	E4	Artigos que exploram teorias e aplicações de RDF tradicional.
	E5	Artigos que exploram teorias e aplicações *Fuzzy* mas não para a aplicação ao *RDF fuzzy*.

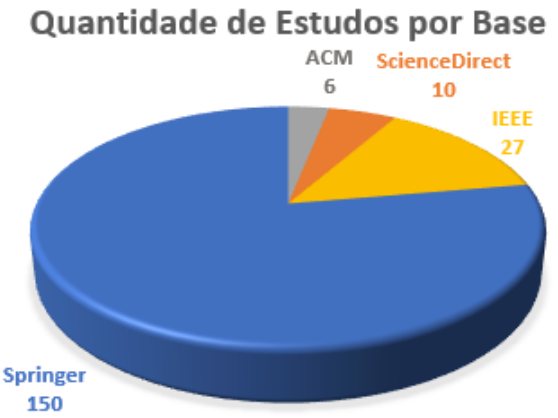
Aos **Critérios de Inclusão** foram ainda atribuídos pesos de relevância baseado na abordagem de *RDF fuzzy* para o artigo. Os pesos de cada critério de inclusão são definidos como:

- **I1** (técnicas para a adaptação do *RDF* para *"RDF fuzzy"*) – **Peso 2**;
- **I2** (uso do *RDF fuzzy* na a recuperação da informação) – **Peso 1**;

3.2.2 Execução da Revisão sobre *Fuzzy RDF*

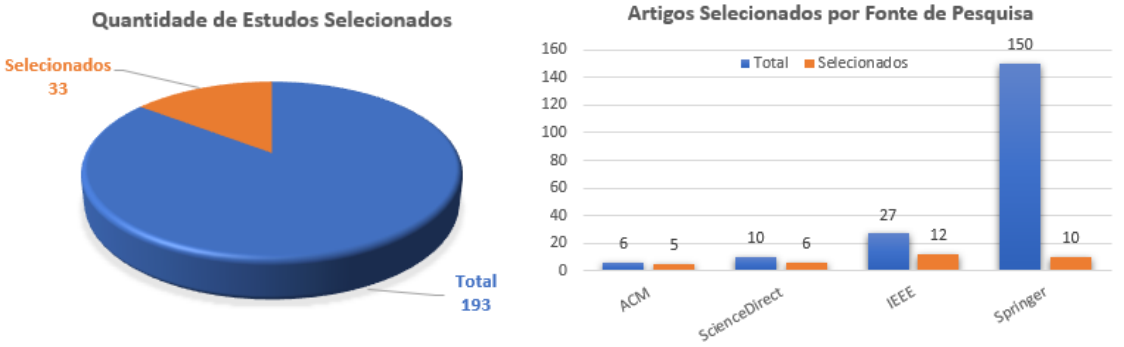
A pesquisa inicial retornou 193 trabalhos. A quantidade de trabalhos em cada fonte de pesquisa pode ser observada na Figura 9.

Figura 9 - Total estudos por base.



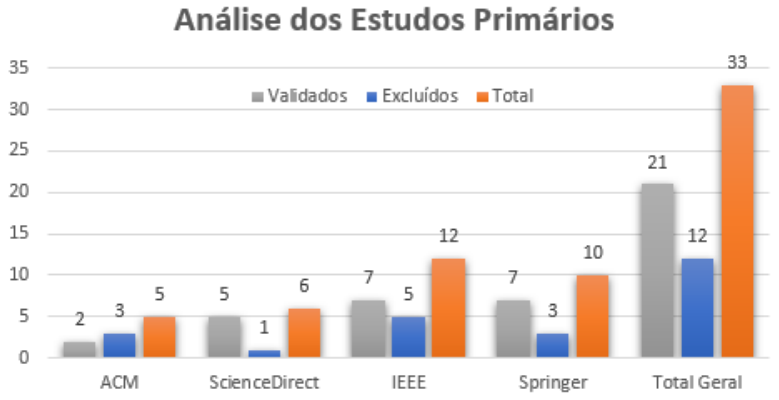
A partir do resultado da pesquisa inicial e da leitura do **título** e **resumo** de cada artigo, dos 193 trabalhos, foi possível selecionar **33 estudos primários.** A Figura 10 apresenta o total de artigos em cada base e artigos selecionados para a serem analisados, de acordo com os critérios de seleção apresentados na Tabela 10.

Figura 10 - a) Total estudos selecionados b) Estudos selecionados por fonte de pesquisa.



Após a leitura completa dos 33 artigos selecionados como estudos primários, foram identificados **12 artigos** que não atenderam aos critérios de seleção e, portanto, não foram enquadrados nesta revisão sistemática. A Figura 11 apresenta um comparativo da quantidade de artigos analisados em cada base.

Figura 11 - Comparativo da quantidade de artigos analisados por base de pesquisa.



Os **21 estudos** classificados como válidos para a pesquisa e os respectivos critérios aplicados em cada artigo encontram-se na Tabela 11. A tabela foi organizada da seguinte maneira: **Título do artigo**, **Ano** de publicação, **Fonte** de pesquisa, **Autores** do artigo, Critérios de Inclusão (**CI**) aplicados para sua seleção e Relevância (**R**) do artigo baseado no critério(s) que o incluiu.

Tabela 11 - Resultado da pesquisa e aplicação dos Critérios de Seleção.

Título do Artigo	Ano	Fonte	Autores	CI	R
Fuzzy Reasoning over RDF Data Using OWL Vocabulary	2011	ACM	LIU, Chang *et al.*	I1	2
The Problem of Searching Interdisciplinary Learning Objects	2014	ACM	PUUSTJÄRVI, Juha; PUUSTJÄRVI, Leena.	I2	1
Semantic Retrieval Based on SPARQL and Fuzzy Ontology for Electronic Commerce	2010	IEEE	ZHAI, Jun; SONG, Yamei	I2	1
An extension of SPARQL with fuzzy navigational capabilities for querying fuzzy RDF data	2016	IEEE	PIVERT, Olivier; SLAMA, Olfa; THION, Virginie	I2	1
Exclusive technique for stocking and probing data table integration using the Internet	2014	IEEE	DIVYA, T.; NITHYA, M.	I2	1
Large-scale incremental OWL/RDFS reasoning over fuzzy RDF data	2017	IEEE	JAGVARAL, Batselem *et al.*	I1	2

A fuzzy extension of SPARQL for querying gradual RDF data	2016	IEEE	PIVERT, Olivier *et al.*	I2	1
Fuzzy quantified queries to fuzzy RDF databases.	2017	IEEE	PIVERT, Olivier; SLAMA, Olfa; THION, Virginie.	I2	1
Representing texts as contextualized entity-centric linked data graphs	2013	IEEE	FREITAS, André *et al.*	I1	2
Fuzzy data modeling and algebraic operations in RDF	2018	Science Direct	MA, Zongmin; LI, Guanfeng; YAN, Li.	I1	2
Pattern match query over fuzzy RDF graph	2019a	Science Direct	LI, Guanfeng; YAN, Li; MA, Zongmin	I1 e I2	3
An approach for approximate subgraph matching in fuzzy RDF graph	2019b	Science Direct	LI, Guanfeng; YAN, Li; MA, Zongmin	I1	2
Fuzzy queries of social networks with FSA-SPARQL	2018	Science Direct	ALMENDROS-JIMENEZ, Jesus M.; BECERRA-TERÓN, Antonio; MORENO, Gines.	I2	1
A general framework for representing, reasoning and querying with annotated semantic web data	2012	Science Direct	ZIMMERMANN, Antoine *et al.*	I1 e I2	3
A Metamodel for Supporting Interoperability in Heterogeneous Ontology Networks	2018	Springer	BONACIN, Rodrigo; CALADO, Ivo; DOS REIS, Julio Cesar	I1	2
Knowledge Representation for Fuzzy Systems Based on Linguistic Variable Ontology and RDF	2011	Springer	BAO, Hongyang *et al.*	I1	2
Querying fuzzy description logics and ontology knowledge bases.	2014	Springer	MA, Zongmin *et al.*	I1 e I2	3
Flexible querying of fuzzy rdf annotations using fuzzy conceptual graphs.	2009	Springer	BUCHE, Patrice; DIBIE-BARTHÉLEMY, Juliette; HIGNETTE, Gaëlle	I2	1
A Minimal Deductive System for General Fuzzy RDF	2009	Springer	STRACCIA, Umberto	I1	2
Interactive exploration of fuzzy RDF knowledge bases	2011	Springer	MANOLIS, Nikos; TZITZIKAS, Yannis	I1 e I2	3
AnQL: SPARQLing Up Annotated RDFS	2010	Springer	LOPES, Nuno *et al.*	I1 e I2	3

A Tabela 12 apresenta qual abordagem relacionada ao *RDF fuzzy* cada artigo selecionado utilizou. De maneira geral, os trabalhos mencionavam, direta ou indiretamente, o *RDF fuzzy* ***(RF)***. Para tanto, são formalizandos seus conceitos, apresentam técnicas para a adaptação do *RDF* tradicional na busca de uma extensão ou adaptação que permita a representação ou recuperação de dados difusos.

Tabela 12 - Abordagem dos artigos ao *RDF fuzzy*.

Título do Artigo	Termo "RDF"	Abordagem ao *RDF fuzzy*
Fuzzy Reasoning over RDF Data Using OWL Vocabulary	Menciona diretamente	O artigo propõe a semântica *fuzzy* pD*, que generaliza a semântica de pD* para discutir sobre dados *RDF fuzzy* usando o vocabulário OWL. Foram apresentadas as noções de grafos *RDF fuzzy* e interpretação pD* *fuzzy*, um conjunto de regras de restrição de pD* *fuzzy* e definiu-se o *BDB* (*Best Degree Bound*) de um triplo derivado de um grafo *RDF fuzzy*. Neste trabalho, adotou-se o padrão *(s, p, o) [n] - RDF* difuso de nível triplo. O *BDB* é usado quando um triplo *(s, p, o)* deriva de um grafo *RDF fuzzy* com diferentes graus difusos - neste caso tem-se dois triplos difusos compartilhando a mesma parte tripla *(s, p, o) [n]* e *(s, p, o) [m]* e, onde m<n, pode-se remover com segurança aquele com menor grau de distorção.
The Problem of Searching Interdisciplinary Learning Objects	Não menciona diretamente	O artigo propõe um Modelo Vetorial para anotar e pesquisar literatura interdisciplinar, que satisfazem uma determinada consulta, realizada por estudantes. A solução é baseada em tecnologias *web* semânticas: o RDF é usado para anotar os objetos de aprendizagem, e o SPARQL é usado para recuperar os perfis de objetos de aprendizagem. No artigo, o rdf é utilizado para representar perfis baseados em vetores anotando os pesos nos elementos de taxonomia (palavras-chave). Na arquitetura proposta, o aluno não interage diretamente com o processador SPARQL, mas sim através do portal Aprendizado. Na construção do vetor de consulta, o usuário primeiro seleciona uma taxonomia e atribui pesos elementos escolhidos nela, de modo que a soma deles seja igual a um. Em seguida, com base no vetor de consulta, o portal formula uma consulta SPARQL nos conjuntos de dados.
Semantic Retrieval Based on SPARQL and Fuzzy Ontology for Electronic Commerce	Não menciona diretamente	Como o RDF e o SPARQL tradicionais não podem manipular os conceitos difusos, para obter uma recuperação semântica *fuzzy* em sistemas de *e-commerce*, o artigo propõe-se uma abordagem usando o RDF e um modelo de ontologia de variáveis linguísticas *fuzzy*. Introduzindo o novo tipo de dados como variáveis linguísticas difusas para o modelo de dados RDF, a expansão da consulta semântica na linguagem de consulta SPARQL é construída por relações semânticas entre conceitos difusos, para posterior recuperação.
An extension of SPARQL with fuzzy navigational capabilities for querying fuzzy RDF data	Menciona diretamente	O artigo propõe uma extensão *fuzzy* da linguagem SPARQL, a linguagem FURQL, que suporta consultas flexíveis de bancos de dados de grafos RDF nítidos e *fuzzy*. A extensão *fuzzy* do SPARQL proposta permite lidar com dados *RDF fuzzy*, sob padrão formalizado por outros autores como *(s, p, o) [n] - RDF fuzzy* de nível triplo, e expressar condições estruturais *fuzzy*, ao lado de condições mais clássicas, sobre os valores dos nós presentes em um grafo *RDF fuzzy*.
Exclusive technique for stocking and probing data table integration using the Internet	Menciona diretamente	O artigo apresenta o ONDINE, um sistema que permite que as tabelas de dados XML, que foram extraídas de documentos da *web*, sejam anotadas com descrições *RDF fuzzy* e sejam flexivelmente consultadas usando SPARQL. O sistema principal é composto de dois subsistemas: 1) Subsistema *@Web* projetado para carregar um *data warehouse* XML/RDF com tabelas de dados que foram extraídas da *Web* e anotadas semanticamente usando conceitos de um Recurso Ontológico e Terminológico (OTR - um modelo que permite a representação conjunta de uma ontologia e sua terminologia associada); 2) Subsistema MIEL++ projetado para consultar simultaneamente e de maneira uniforme as fontes de dados locais (usando SQL) e o *data warehouse* XML/RDF (usando SPARQL). O subsistema de consulta MIEL++ permite que o usuário final expresse suas preferencias na consulta e recupere os dados mais próximos armazenados nos dois tipos de origens de dados.

Large-scale incremental OWL/RDFS reasoning over fuzzy RDF data	Menciona diretamente	O artigo apresenta uma estrutura para o raciocínio incremental, que recebe novos dados e executa o raciocínio sobre eles sem re-inferir dados anteriores, com vocabulário OWL e RDFS sobre dados *RDF fuzzy*. O foco foi direcionado particularmente para o paralelismo das regras difusas de RDFS e OWL pD*, porque o vocabulário pD* é menos computacionalmente complexo, se comparado com o vocabulário OWL Full ou DL, e oferece um rico conjunto de regras completas de raciocínio. Cada tarefa de raciocínio consiste em duas etapas: a primeira etapa é obter as triplas, executar uma regra e, em seguida, a segunda etapa é calcular os valores difusos para as triplas duplicadas. Uma tripla *RDF fuzzy* é expressa na forma *(s, p, o) [ƛ]*, onde *(s, p, o)* é um triplo RDF e *[ƛ]* representa um grau difuso (*RDF fuzzy* de nível triplo, proposto por LIU *et al.* (2011)). Apresentou-se métodos para calcular valores difusos e abordagens de raciocínio incremental para evitar derivar dados previamente inferidos.
A fuzzy extension of SPARQL for querying gradual RDF data	Menciona diretamente	O artigo apresenta os estudos iniciais de uma estratégia para estender a linguagem SPARQL, que posteriormente foi chamada de linguagem FURQL, com informações de dados graduais e recursos de consulta flexível, permitindo a definição de regras de derivação específicas para SPARQL *fuzzy* e a identificação de estratégias de otimização para controlar o custo extra induzido pela flexibilidade em termos de tempo de computação. Para o estudo da consulta, foi considerada uma adaptação dos modelos *RDF fuzzy* propóstos por Mazzieri, Dragoni e Marche (2005) e Straccia (2009).
Fuzzy quantified queries to fuzzy RDF databases	Menciona diretamente	O artigo apresenta a noção de declarações quantificadas *fuzzy* em um contexto de banco de dados *RDF fuzzy*. Mostra como essas instruções podem ser definidas e implementadas no FURQL (*Fuzzy RDF Query Language*), que é uma extensão difusa da linguagem de consulta SPARQL (que os próprios autores propuseram em Pivert, Slama e Thion (2016)). Usando como ponto de partida o trabalho anterior, em que consultas eram feitas no contexto de bancos de dados de grafos nítidos, integra as declarações quantificadas *fuzzy* em uma consulta FURQL endereçada a um banco de dados *RDF fuzzy*. Foram realizados alguns experimentos para estudar o desempenho e o resultado dessas experiências mostram que o custo extra induzido pela natureza difusa das consultas permanece limitado, mesmo no caso de consultas quantificadas difusas bastante complexas.
Representing texts as contextualized entity-centric linked data graphs	Não menciona diretamente	O artigo trabalha uma maneira inicial de representar fatos extraídos de textos de linguagem natural usando grafos de discurso estruturados (ODS). A centralidade da modelagem contextual utiliza reificação e denomina grafos como um elemento fundamental para a representação de estruturas de texto de uma maneira independente de vocabulário/ontologia, maximizando a captura de dependências semânticas complexas presentes em textos de linguagem natural, caracterizado por grande variação terminológica, padrões de contexto complexos, semântica *fuzzy* e frases intrinsecamente ambíguas. A intenção é integrar, representar e interpretar semanticamente informações extraídas do texto que não se encaixam facilmente na estrutura normalizada de conjuntos de dados baseados em ontologia.
Fuzzy data modeling and algebraic operations in RDF	Menciona diretamente	O artigo apresenta um modelo de dados de grafos *RDF fuzzy* para manipular as informações difusas no modelo RDF. Explora-se um modelo abstrato de grafo *fuzzy* que considera a imprecisão ao nível de elemento. Formalmente, esse tipo de modelo *RDF fuzzy* é triplo difuso $(\mu_s/s, \mu_p/p, \mu_o/o)$, onde *s* é um assunto difuso e $\mu_s \in [0,1]$ denota o grau de pertinência do universo de um conjunto de dados RDF, *p* é predicado difuso e $\mu_p \in [0,1]$ expressa o grau difuso para a propriedade ou relação sendo descrita, *o* é um objeto difuso e $\mu_o \in [0,1]$ representa o grau difuso do valor para o valor da propriedade ou relação. Sendo

		assim, a proposta possibilitou ampliar a capacidade do RDF, para representar informações difusas, sem alterar o padrão RDF atual tradicional. Também foi apresentada uma álgebra *fuzzy* baseada em um modelo de dados *RDF fuzzy*, que incorpora informações difusas no atendimento de consultas feitas com a linguagem SPARQL. A álgebra é amigável ao usuário, pode expressar o conteúdo de dados e a estrutura do grafo *RDF fuzzy* e é composta por um conjunto de operações que inclui: operações de conjunto, de extração, de construção e de grafo RDF.
Pattern match query over fuzzy RDF graph	Menciona diretamente	O artigo adota um modelo abstrato de grafo *RDF fuzzy*, formalizado pelos autores em Ma, Li e Yan (2018), porém este trabalho investiga como responder eficientemente às consultas *RDF fuzzy* em vez de como modelar os dados *RDF fuzzy*. O modelo explorado é um modelo de grafo *RDF fuzzy* geral que considera a imprecisão de nível de elemento com base na teoria de grafos *fuzzy*. Propõe-se agora padrões de grafos *fuzzy* que permitem consultar um modelo de dados *RDF fuzzy* e expressar preferências em dados por meio de condições difusas e, na estrutura do grafo de dados, com expressões regulares. Por fim, apresentou-se uma abordagem para avaliar padrões de grafos RDF, a fim de responder eficientemente às consultas de padrões de sub-grafos sobre o grafo de dados *RDF fuzzy*.
An approach for approximate subgraph matching in fuzzy RDF graph	Menciona diretamente	O artigo apresenta uma abordagem para correspondência aproximada de padrões de subgrafos no grafo *RDF fuzzy*, que é importante para uma ampla variedade de aplicativos, como análise de redes sociais e descoberta de conhecimento. Para tanto, formalizou-se o problema da correspondência de grafos padrão e grafos RDF difusos e definiu-se um modelo geral de grafos *RDF fuzzy* para capturar a imprecisão de vértices e arestas. Apresenta-se uma indexação de grafo RDF baseada em caminho e um algoritmo de correspondência de subgrafo que consiste em três etapas: decompor o grafo de consulta em um conjunto de caminhos, obter um conjunto de candidatos para cada caminho na decomposição e unir caminhos de candidatos em grupos para construir as respostas do grafo de consulta, baseado nos critérios de uma determinada consulta, durante o processo de avaliação da consulta.
Fuzzy queries of social networks with FSA-SPARQL	Menciona diretamente	O artigo apresenta uma extensão *fuzzy* da linguagem de consulta SPARQL, chamada FSA-SPARQL. Esta extensão fornece mecanismos para expressar consultas difusas em dados RDF, na qual as consultas podem envolver diferentes conectivos difusos, modificadores linguísticos, qualificados de igualdade/desigualdades *fuzzy* e bem como operações de agregação *fuzzy*. A imprecisão é representada por um grau de verdade (ou seja, um valor real no intervalo [0,1]) associado aos relacionamentos rdf: type, rdfs: subClassOf e rdfs: subPropertyOf, bem como às propriedades de tipos de dados e objetos. O FSA-SPARQL trabalha com redes sociais, permite a transformação e a fuzzificação de dados de suas APIs e oferece uma ampla gama de mecanismos de classificação e categorização, incluindo análise de sentimento e detecção de tópicos.
A general framework for representing, reasoning and querying with annotated semantic web data	Menciona diretamente	O artigo apresenta uma estrutura de anotação RDF generalizada que estende a semântica RDFS. No trabalho foram detalhados três domínios concretos de anotações (temporal, *fuzzy*, procedência). Nos dados anotados com o domínio temporal, o triplo anotado é válido em datas contidas no intervalo de anotação. Apresenta também uma extensão da linguagem de consulta SPARQL, o AnQL, que permite a consulta de RDF com anotações e oferece recursos avançados, como agregações, consultas aninhadas e atribuições de variáveis.

A Metamodel for Supporting Interoperability in Heterogeneous Ontology Networks	Menciona diretamente	Utiliza uma adaptação *RDF fuzzy* para criar uma *soft ontology* que pudesse ser utilizada na validação do metamodelo, de interoperabilidade ontológica, proposto no artigo. Aponta que a *soft ontology* usada na validação do modelo é construída com base na linguagem *RDF fuzzy* com os parametros: *{Subject, Predicate, Object, Type, Val Deg}*, proposta por Lv, Ma e Yan (2008).
Knowledge Representation for Fuzzy Systems Based on Linguistic Variable Ontology and RDF	Não menciona diretamente	O artigo aplica ontologia e RDF para representar o conhecimento difuso para sistemas *fuzzy* na *Web* Semântica. O trabalho (i) utiliza ontologia *fuzzy* para representar formalmente as variáveis linguísticas difusas, considerando as relações semânticas entre conceitos *fuzzy*, (ii) descreve a regra *fuzzy* como um recurso RDF e (iii) mostra, a partir de um estudo de caso, a possibilidade de aplicações difusas distribuídas na *Web* Semântica. Aplicando a regra *fuzzy* IF-THEN a um exemplo simples é feita a apresentação da representação formal da regra *fuzzy* no RDF.
Querying fuzzy description logics and ontology knowledge bases.	Menciona diretamente	O livro fornece informações contemporâneas sobre tópicos relacionados à lógica *fuzzy* na área da *Web* Semântica para representação e raciocínio *fuzzy* do conhecimento. Dentro do contexto de fuzzy, os tópicos deste livro incluem: lógicas de descrição e ontologias *fuzzy*, consultas e extração de lógicas de descrição a partir de modelos de dados *fuzzy*, bases de conhecimento e armazenamento de ontologias em bancos de dados difusos, mapeamento ontológico difuso da *Web* Semântica, linguagem de consulta SPARQL *fuzzy* (f-SPARQL).
Flexible querying of fuzzy rdf annotations using fuzzy conceptual graphs.	Menciona diretamente	O artigo apresenta um sistema flexível de consultas de anotações que consiste em traduzir anotações *RDF fuzzy* em grafos conceituais difusos e usar uma operação de projeção "aproximada" para comparar grafos de consulta *fuzzy* com grafos de anotação *fuzzy*. As comparações fornecem várias pontuações que são usadas pelo sistema de consultas para classificar as respostas. O processo de anotação gera descrições de RDF que representam as relações semânticas da ontologia. Algumas dessas descrições de RDF incluem valores expressos como conjuntos difusos. O processamento de consultas proposto é feito através da linguagem de consulta MIEL e suporta consultas flexíveis de anotações *fuzzy*.
A Minimal Deductive System for General Fuzzy RDF	Menciona diretamente	Fornece um sistema dedutivo mínimo para *RDF fuzzy*, sob uma semântica generalizada baseada em t-norms, para lidar com domínios específicos. Busca armazenar as triplas *fuzzy* como triplos de RDF usando reificação e, portanto, nenhuma alteração no RDF é necessária. Na sintaxe proposta para a generalização *RDF fuzzy*, um triplo *RDF fuzzy* é composto por *(s, p, o) [n]* - RDF difuso de nível triplo). Desta forma é possível anexar um grau a cada afirmação (RDF difuso de nível triplo). Os graus são dados por números, portanto, cada grau é comparável com qualquer outro grau, ou seja, eles têm uma ordenação. Para a linguagem de consulta, usando *RDF fuzzy*, calcula as respostas top-k da união de consultas conjuntivas nas quais as respostas podem ser pontuadas por meio de uma função de pontuação formalizada pelos autores.
Interactive exploration of fuzzy RDF knowledgbases	Menciona diretamente	Com o objetivo de permitir a formulação de consultas complexas, o artigo propõe um novo modelo de navegação e exploração para domínios, cujas descrições são acompanhadas de semânticas específicas de aplicação, como relevância, precisão, certeza e confiança. O modelo define formalmente um processo de interação baseado em sessão e explora graus difusos para aumentar o poder de discriminação da interação, que permite aos usuários localizar os objetos de interesse. O modelo proposto é independente de linguagem de consulta e o trabalho discute problemas que dizem respeito às linguagens de consulta disponíveis. O Modelo de Interação para *RDF*

		fuzzy considera para os marcadores de transição correspondentes em RDF simples (s, p, o) devem estar um grau difuso (por exemplo: (Bob,worksAt,CSD,0.8)), aumentando o poder de discriminação da interação.
AnQL: SPARQLing Up Annotated RDFS	Menciona diretamente	Aborda o desenvolvimento de uma linguagem de consulta - AnQL - inspirada no SPARQL e que usa o RDFS anotado apresentado em trabalhos anteriores (ampliando o RDF anotado de Udrea, Recupero e Subrahmanian (2006). Foram apresentadas definições formais da semântica de características como: subconsultas, agregados, atribuição e modificadores de solução.

3.2.3 Análise de Resultados

Para facilitar a análise de resultados foi elaborada a Tabela 13, que apresenta uma referência abreviada dos artigos que foram analisados (um subconjunto das referências desta dissertação).

Tabela 13 - Referência abreviada dos artigos selecionados sobre *RDF Fuzzy*.

Título do Artigo	Ano	Autores	Referência
Fuzzy Reasoning over RDF Data Using OWL Vocabulary	2011	LIU, Chang *et al.*	(LIU *et al.*, 2011)
The Problem of Searching Interdisciplinary Learning Objects	2014	PUUSTJÄRVI, Juha; PUUSTJÄRVI, Leena.	(PUUSTJÄRVI; PUUSTJÄRVI, 2014)
Semantic Retrieval Based on SPARQL and Fuzzy Ontology for Electronic Commerce	2010	ZHAI, Jun; SONG, Yamei	(ZHAI; SONG, 2010)
An extension of SPARQL with fuzzy navigational capabilities for querying fuzzy RDF data	2016	PIVERT, Olivier; SLAMA, Olfa; THION, Virginie.	(PIVERT; SLAMA; THION, 2016)
Exclusive technique for stocking and probing data table integration using the Internet	2014	DIVYA, T.; NITHYA, M.	(DIVYA; NITHYA, 2014)
Large-scale incremental OWL/RDFS reasoning over fuzzy RDF data	2017	JAGVARAL, Batselem *et al.*	(JAGVARAL *et al.*, 2017)
A fuzzy extension of SPARQL for querying gradual RDF data	2016	PIVERT, Olivier *et al.*	(PIVERT *et al.*, 2016)
Fuzzy quantified queries to fuzzy RDF databases.	2017	PIVERT, Olivier; SLAMA, Olfa; THION, Virginie.	(PIVERT; SLAMA; THION, 2017)
Representing texts as contextualized entity-centric linked data graphs	2013	FREITAS, André *et al.*	(FREITAS *et al.*, 2013)
Fuzzy data modeling and algebraic operations in RDF	2018	MA, Zongmin; LI, Guanfeng; YAN, Li.	(MA; LI; YAN, 2018)
Pattern match query over fuzzy RDF graph	2019a	LI, Guanfeng; YAN, Li; MA, Zongmin	(LI; YAN; MA, 2019a)
An approach for approximate subgraph matching in fuzzy RDF graph	2019b	LI, Guanfeng; YAN, Li; MA, Zongmin	(LI; YAN; MA, 2019b)
Fuzzy queries of social networks with FSA-SPARQL	2018	ALMENDROS-JIMENEZ, Jesus M.; BECERRA-TERÓN, Antonio;	(ALMENDROS-JIMENEZ; BECERRA-TERÓN;

		MORENO, Gines.	MORENO, 2018)
A general framework for representing, reasoning and querying with annotated semantic web data	2012	ZIMMERMANN, Antoine *et al.*	(ZIMMERMANN *et al.*, 2012)
A Metamodel for Supporting Interoperability in Heterogeneous Ontology Networks	2018	BONACIN, Rodrigo; CALADO, Ivo; DOS REIS, Julio Cesar	(BONACIN; CALADO; DOS REIS, 2018)
Knowledge Representation for Fuzzy Systems Based on Linguistic Variable Ontology and RDF	2011	BAO, Hongyang *et al.*	(BAO *et al.*, 2011)
Querying fuzzy description logics and ontology knowledge bases.	2014	MA, Zongmin *et al.*	(MA *et al.*, 2014)
Flexible querying of fuzzy rdf annotations using fuzzy conceptual graphs.	2009	BUCHE, Patrice; DIBIE-BARTHÉLEMY, Juliette; HIGNETTE, Gaëlle	(BUCHE; DIBIE-BARTHÉLEMY; HIGNETTE, 2009)
A Minimal Deductive System for General Fuzzy RDF	2009	STRACCIA, Umberto	(STRACCIA, 2009)
Interactive exploration of fuzzy RDF knowledge bases	2011	MANOLIS, Nikos; TZITZIKAS, Yannis	(MANOLIS; TZITZIKAS, 2011)
AnQL: SPARQLing Up Annotated RDFS	2010	LOPES, Nuno *et al.*	(LOPES *et al.*, 2010)

Na fase de análise dos resultados da revisão sistemática, foram analisados todos os artigos com objetivo de responder à questão principal de pesquisa, por meio da análise das 2 questões complementares conforme apresentado a seguir.

Q1. Quais trabalhos propõem técnicas para a adaptação do *RDF* para "*RDF fuzzy*"?

Observou-se que boa parte dos artigos analisados, desta revisão sistemática, apresentam técnicas de adaptação do RDF definido como no padrão W3C[5] para seu uso com dados difusos. Este assunto foi tratado em **13 artigos.** As principais propostas de alteração são feitas sob a abordagem do ***RDF fuzzy* de nível triplo** (*i.e.,* quando um grau difuso é acrescentado ao triplo RDF (s, p, o) completo) ou ***RDF fuzzy* de nível de elemento** (*i.e.* quando um grau difuso é associado a cada membro da tripla RDF (s, p, o)).

Os artigos de Liu *et al.* (2011), Straccia (2009) e Manolis e Tzitzikas (2011) adotaram o padrão *RDF fuzzy* de nível triplo. Na sintaxe proposta para a generalização *RDF fuzzy*, um triplo *RDF fuzzy* é composto por *(s, p, o) [n]*, (*i.e.*, RDF difuso de nível triplo), onde *(s, p, o)* é a tripla tradicional *s=sujeito*, *p=predicado* e *o=valor* e um valor *n* de crença (associado a tripla RDF), sendo $n \in [0, 1]$.

[5] https://www.w3.org/RDF/

Já Straccia (2009) apresenta um sistema dedutivo mínimo para *RDF fuzzy*, sob uma semântica generalizada baseada em *t-norms*, para lidar com domínios específicos. Ele busca armazenar as triplas *fuzzy* em triplas de RDF usando reificação e, portanto, sem nenhuma alteração necessária no RDF. Na sintaxe proposta um grau difuso é agregado a cada tripla. Como os graus são sempre valores numéricos, cada grau é comparável com qualquer outro, permitindo ordenação.

Em Liu *et al.* (2011) é proposta a semântica *fuzzy* pD*[6], que generaliza a semântica de pD* para discutir sobre dados *RDF fuzzy* usando vocabulário em OWL. Foram apresentadas as noções de grafos *RDF fuzzy* e interpretação pD* *fuzzy*, um conjunto de regras de restrição de pD* *fuzzy* e definiu-se o *BDB* (*Best Degree Bound*) de triplas derivadas de grafos *RDF fuzzy*. O *BDB* é usado quando uma tripla *(s, p, o)* deriva de um grafo *RDF fuzzy* com diferentes graus difusos - neste caso tem-se duas triplas difusas compartilhando a mesma parte tripla *(s, p, o) [n]* e *(s, p, o) [m]* e, onde $m<n$, pode-se remover com segurança aquele com menor grau de distorção.

Outro trabalho que explora o uso de vocabulários OWL pD* é proposto por Jagvaral *et al.* (2017). O artigo apresenta uma estrutura para o raciocínio incremental, que recebe novos dados e executa o raciocínio sobre eles sem re-inferir dados anteriores, com OWL e RDFS sobre dados *RDF fuzzy*. O foco foi direcionado para o paralelismo das regras difusas de RDFS e OWL pD*, porque o vocabulário pD* é computacionalmente menos complexo, se comparado com OWL Full ou DL, e oferece um rico conjunto de regras completas de raciocínio. Cada tarefa de raciocínio consiste em duas etapas: a primeira etapa é obter as triplas, executar uma regra e, em seguida, a segunda etapa é calcular os valores difusos para as triplas duplicadas. Uma tripla *RDF fuzzy* é expressa na forma *(s, p, o)* $[\hat{\lambda}]$, onde *(s, p, o)* é uma tripla RDF e $[\hat{\lambda}]$ representa um grau difuso (*RDF fuzzy* de nível triplo, proposto por Liu *et al.* (2011)). Apresentou-se métodos para calcular valores difusos e abordagens de raciocínio incremental para evitar derivar dados previamente inferidos.

Com o objetivo de permitir a formulação de consultas complexas. Manolis e Tzitzikas (2011) propõem um modelo que define formalmente um processo de interação

[6] semântica não-padrão definida de maneira análoga à semântica do RDFS, mas mais fraca que a semântica padrão da OWL

baseado em sessão e explora graus difusos. Essa abordagem permite aos usuários localizar objetos de seu interesse. O Modelo de interação para *RDF fuzzy* aumenta o poder de discriminação de objetos na interação por considerar, para os marcadores de transição correspondentes em *RDF* simples *(s, p, o)*, por meio da agregação de um grau difuso, como o exemplo apresentado na tripla *fuzzy*: *(Bob, worksAt, CSD,0.8))*.

Ainda sob a abordagem do *RDF fuzzy*, os artigos de Lopes *et al.* (2010) e Zimmermann *et al.* (2012) apresentam uma extensão generalizada do RDF, melhorando o RDF Anotado de Udrea, Recupero e Subrahmanian (2006). Tal extensão generalizada é capaz de encapsular as extensões de RDF, mencionadas como domínios específicos para anotações de RDF. A tripla anotada utilizada é uma expressão $\tau : \lambda$, onde τ é uma tripla $\tau = (s, p, o)$ e λ é um valor anotado (como por exemplo: *(audiTT, type, SportsCar): 0.8*). Em LOPES *et al.* (2010), a extensão RDF proporciona um procedimento de raciocínio em RDFS genérico, que pode ser formulado independentemente do domínio de anotação, sendo parametrizado com operações que qualquer domínio precisa fornecer. Já o artigo de Zimmermann *et al.* (2012) apresenta a estrutura de anotação RDF generalizada, estendendo a semântica RDFS, detalhando três domínios concretos de anotações (temporal, *fuzzy/*imprecisão, procedência/confiança) e oferecendo uma maneira uniforme e programática de combinar domínios de anotação. Em ambos os trabalhos são também apresentados uma extensão da linguagem de consulta SPARQL, o AnQL, que permite a consulta de RDF com anotações.

Freitas *et al.* (2013) trabalha uma maneira inicial de representar fatos extraídos de textos de linguagem natural usando grafos de discurso estruturados (ODS). A centralidade da modelagem contextual utiliza reificação e denomina grafos como um elemento fundamental para a representação de estruturas de texto, com a intenção de integrar, representar e interpretar semanticamente informações extraídas do texto que não se encaixam facilmente na estrutura normalizada de conjuntos de dados baseados em ontologia. O modelo proposto foca a representação de declarações complexas em que um triplo é composto por $tr = (e_s, p, e_o)$, onde e_s, e_o representam entidades associadas respectivamente com o sujeito (s) e objeto *(o)*, e p representa a relação entre e_s e e_o. Após o processo de reificação, a tripla caracteriza-se por $tr_{rei} = (tr, rei_{link}, rei_{obj})$ onde tr representa a tripla básica, rei_{link} representa relação e rei_{obj} representa um objeto de

reificação (*i.e.*, uma entidade, um valor ou um triplo), que significa que o triplo *tr* básico é reificado em rei_{obj} através da relação rei_{obj}.

Ma, Li e Yan (2018), Li, Yan e Ma (2019a) e Li, Yan e Ma (2019b) apresentam um modelo abstrato de grafo *fuzzy* que considera a imprecisão ao nível de elemento e são trabalhos relacionados e sequenciados. Formalmente, o "modelo *RDF fuzzy* ao nível do elemento" é uma tripla difusa $(\mu_s/s, \mu_p/p, \mu_o/o)$, onde *s* é um assunto *fuzzy* e $\mu_s \in [0,1]$ denota o grau de pertinência do universo de um conjunto de dados RDF, *p* é predicado *fuzzy* e $\mu_p \in [0,1]$ expressa o grau difuso para a propriedade ou relação sendo descrita, *o* é um objeto *fuzzy* e $\mu_o \in [0,1]$ representa o grau difuso do valor para o valor da propriedade ou relação. Nesse modelo, ao contrátio da maioria dos modelos apresentados anteriormente que atribui um valor de incerteza a toda tripla, valores *fuzzy* são atribuídos a cada elemento da tripla.

Ma, Li e Yan (2018) apresenta formalmente o modelo de grafo *fuzzy* que considera a imprecisão ao nível de elemento. Como esse tipo de modelo *RDF fuzzy* é composto pela tripla difusa $(\mu_s/s, \mu_p/p, \mu_o/o)$, a proposta possibilitou ampliar a capacidade do RDF, para representar informações difusas, sem alterar o padrão RDF tradicional. Também foi apresentada uma álgebra *fuzzy* baseada em um modelo de dados *RDF fuzzy*, que incorpora informações difusas no atendimento de consultas feitas com a linguagem SPARQL. A álgebra é amigável ao usuário, pode expressar o conteúdo de dados e a estrutura do grafo *RDF fuzzy* e é composta por um conjunto de operações que inclui: operações de conjunto, de extração, de construção e de grafo RDF. Li, Yan e Ma (2019a) adota o modelo de grafo *RDF fuzzy*, formalizado pelos autores em Ma, Li e Yan (2018), e investiga como responder eficientemente às consultas *RDF fuzzy*.

Já em Li, Yan e Ma (2019b) é apresentada uma abordagem para correspondência aproximada de padrões de subgrafos no grafo *RDF fuzzy*. Para tanto, formalizou-se o problema da correspondência de grafos padrão e grafos RDF difusos e definiu-se um modelo geral de grafos *RDF fuzzy* para capturar a imprecisão de vértices e arestas. Apresenta-se uma indexação de grafo RDF baseada em caminho e um algoritmo de correspondência de subgrafo. O processo de correspondência consiste nas seguintes etapas: o grafo padrão é decomposto em um conjunto de caminhos que iniciam a partir de um vértice raiz e terminam em um vértice de destino, esses caminhos são comparados com o grafo de dados e os caminhos candidatos que melhor correspondem aos caminhos de

consulta são finalmente reconstruídos para gerar a resposta. Ao mesmo tempo, durante o processo de avaliação da consulta, calcula-se a associação de correspondência de caminho (referindo-se a uma possibilidade absoluta de uma correspondência) e, em seguida, agrega-se a uma associação de correspondência geral. A abordagem apresentada é importante para uma ampla variedade de aplicativos, como análise de redes sociais e descoberta de conhecimento.

Apesar de não estar explicito no artigo, Bonacin, Calado e Dos Reis (2018) também adotam uma abordagem de *RDF fuzzy* de nível de elemento, proposta por Lv, Ma e Yan (2008). O artigo analisado emprega uma adaptação do modelo *RDF fuzzy* para criar uma *soft ontology* que pudesse ser utilizada na validação de um metamodelo para interoperabilidade entre diferentes representações de ontologias. Aponta que a *soft ontology* usada na validação do modelo é construída com base na linguagem *RDF fuzzy* com os parametros: *{Subject, Predicate, Object, Type, Val Deg}*. Entretanto, esta proposta não contempla vários aspectos, tais como a correspondendica definidas por caminhos de grafos apresentada por Li, Yan e Ma (2019b).

Bao *et al.* (2011) aplica ontologia e RDF para representar o conhecimento difuso, para sistemas *fuzzy* na *Web* Semântica. O trabalho (i) utiliza ontologia *fuzzy* para representar formalmente as variáveis linguísticas difusas, considerando as relações semânticas entre conceitos *fuzzy*, (ii) descreve a regra *fuzzy* como um recurso RDF e (iii) mostra, a partir de um estudo de caso, a possibilidade de aplicações difusas distribuídas na *Web* Semântica. Aplicando a regra *fuzzy* IF-THEN a um exemplo simples é feita a apresentação da representação formal da regra *fuzzy* no RDF.

O livro de Ma *et al.* (2014) disponibiliza uma síntese conceitual ampla e aborda contextos relacionados à lógicas de descrição *fuzzy* e ontologias *fuzzy*, consultas de lógicas de descrição *fuzzy* e bases de conhecimento de ontologias *fuzzy*, extração de lógicas de descrição *fuzzy* e ontologias a partir de modelos de dados *fuzzy*, armazenamento de bases de conhecimento de ontologias *fuzzy* em bancos de dados difusos, mapeamento ontológico difuso da *Web* Semântica regras *fuzzy* e seu intercâmbio na *Web* Semântica. No que diz respeito ao mapeamento da ontologia *fuzzy* da *Web* Semântica, baseado na comparação de conceitos de ontologias *fuzzy* e no grafo conceitual, mapeamentos entre múltiplas ontologias *fuzzy* são investigados. Especificamente sobre *RDF fuzzy*, no tópico “Extração de Ontologias Fuzzy de Modelos de Dados Fuzzy” do capítulo 5, apontam o trabalho de

Ma *et al.* (2014), onde os autores traduziram o esquema relacional *fuzzy* no modelo ER *Fuzzy*, que posteriormente pôde ser traduzido para o modelo de dados *RDF fuzzy*.

Q2. Quais artigos apontam o uso do *RDF fuzzy* na recuperação da informação?

Depois de feita a análise dos artigos identificou-se que, dos 21 estudos classificados como válidos para a pesquisa, **12 deles** apontam o uso do *RDF fuzzy* na recuperação da informação. Em boa parte dos artigos são propostas extensões *fuzzy* do SPARQL tradicional, que é a linguagem de consulta, padrão do W3C, para RDF.

Com o objetivo de gerenciar grafos conceituais (CG) difusos, incluindo dados de similaridade e dados imprecisos Buche, Dibie-Barthélemy e Hignette (2009) apresentam um sistema flexível de consultas de anotações que consiste em i) traduzir anotações *RDF fuzzy* em grafos conceituais *fuzzy* e ii) usar uma operação de projeção "aproximada" para comparar grafos de consulta *fuzzy* com grafos de anotação *fuzzy*. O processamento de consultas apresentado baseia-se no vocabulário definido em uma ontologia, é feito através da linguagem de consulta MIEL (formalizada por Buche *et al.* (2006)), e estende a proposta inicial da linguagem por suportar consultas flexíveis de anotações *fuzzy*. Tal extensão permite que o usuário final busque simultaneamente e de maneira uniforme cada fonte de informação (relacional, CG e XML) de um *data warehouse* aberto na *web*. As comparações de grafos fornecem várias pontuações que são usadas pelo sistema de consultas para classificar as respostas. O processo de anotação gera descrições de RDF que representam as relações semânticas da ontologia. Algumas dessas descrições de RDF incluem valores expressos como conjuntos difusos.

Divya e Nithya (2014) também falam sobre a possibilidade de consultar dados de um *data warehouse* por meio do sistema ONDINE, que permite que as tabelas de dados XML, que foram extraídas de documentos da *Web*, sejam anotadas com descrições *RDF fuzzy* e sejam flexivelmente consultadas usando SPARQL. O sistema principal é composto de dois subsistemas: 1) Subsistema *@Web* projetado para carregar um *data warehouse* XML/RDF com tabelas de dados que foram extraídas da *Web* e anotadas semanticamente usando conceitos de um OTR (*i.e.*, Recurso Ontológico e Terminológico - um modelo que permite a representação conjunta de uma ontologia e sua terminologia associada); 2) Subsistema MIEL++ projetado para consultar simultaneamente e de maneira uniforme as

fontes de dados locais (usando SQL) e o *data warehouse* XML/RDF (usando SPARQL). O subsistema de consulta MIEL++ permite que o usuário final expresse suas preferencias na consulta e recupere os dados mais próximos armazenados nos dois tipos de origens de dados.

Como o RDF e o SPARQL tradicionais não podem manipular os conceitos difusos, para obter uma recuperação semântica *fuzzy* em sistemas de *e-commerce*, Zhai e Song (2010) propõem uma abordagem usando o RDF e um modelo de ontologia de variáveis linguísticas *fuzzy*. Introduzindo o novo tipo de dados como variáveis linguísticas *fuzzy* para o modelo de dados RDF, a expansão da consulta semântica na linguagem de consulta SPARQL é construída por relações semânticas entre conceitos difusos, para posterior recuperação. Por exemplo: para obter a recuperação semântica fuzzy, itens como "price" e "age" são considerados como uma variável linguística difusa e seus valores são definidos em ontologias "O1", "O2". Dessa forma é possível construir o padrão de consulta no SPARQL.

Lopes *et al.* (2010) e Zimmermann *et al.* (2012), além de apresentar uma extensão generalizada do RDF anotado (melhorando o RDF anotado de Udrea, Recupero e Subrahmanian (2006), abordam o desenvolvimento de uma linguagem de consulta - AnQL - inspirada no SPARQL e que usa o RDF anotado. Lopes *et al.* (2010) fazem definições formais da semântica de características como: subconsultas, agregados, atribuição e modificadores de solução. Uma consulta AnQL simples é definida como um triplo $Q = (P, G, V)$ onde P é um grafo padrão, o conjunto de dados G é um grafo anotado e V é um conjunto de variáveis. Já Zimmermann *et al.* (2012) ampliam o trabalho publicado anteriormente, considerando consultas nos três domínios concretos de anotações propostos (temporal, *fuzzy*, procedência) e oferecendo recursos avançados, como agregações, consultas aninhadas e atribuições de variáveis. Aqui uma consulta AnQL simples é definida como uma Q quádrupla (P, G, V, A), onde P é um grafo padrão e o conjunto de dados G é um grafo RDF anotado, V é uma lista de variáveis e A é o conjunto de variáveis de anotação retiradas de um conjunto A (distinto de V).

Com o objetivo de permitir a formulação de consultas complexas, Manolis e Tzitzikas (2011) propõem um novo modelo de navegação e exploração para domínios, cujas descrições são acompanhadas de semânticas específicas de aplicação, como

relevância, precisão, certeza e confiança. O modelo define formalmente um processo de interação baseado em sessão e explora graus difusos para aumentar o poder de discriminação da interação, que permite aos usuários localizar os objetos de interesse. Em relação às consultas, os autores apontam que o modelo proposto é independente de linguagem de consulta e discute problemas que dizem respeito às linguagens de consulta disponíveis.

Em Puustjärvi e Puustjärvi (2014) é proposto um modelo vetorial para anotar e pesquisar literatura interdisciplinar, que satisfazem uma determinada consulta, realizada por estudantes. Apresenta-se a semântica fuzzy pD* que generaliza a semântica de pD* para discutir sobre dados *RDF fuzzy* usando a linguagem OWL. A solução é baseada em tecnologias *web* semânticas: o RDF é usado para anotar os objetos de aprendizagem, e o SPARQL é usado para recuperar os perfis de objetos de aprendizagem. No artigo, o RDF é utilizado para representar perfis baseados em vetores anotando os pesos nos elementos de taxonomia (palavras-chave). Na arquitetura proposta, o aluno não interage diretamente com o processador SPARQL, mas sim através do portal Aprendizado. Na construção do vetor de consulta, o usuário primeiro seleciona uma taxonomia e atribui pesos elementos escolhidos nela, de modo que a soma deles seja igual a um. Em seguida, com base no vetor de consulta, o portal formula uma consulta SPARQL nos conjuntos de dados.

No livro de Ma *et al.* (2014), em relação às consultas às bases de conhecimento de ontologias *fuzzy*, os autores enfatizam que, em aplicações do mundo real, existe incerteza na intenção de consulta do usuário e que o SPARQL tradicional. Assim, apesar de ser a linguagem de consulta padrão do W3C para consulta em RDF, SPARQL não pode expressar e responder com eficiência solicitações com tal imprecisão. Para resolver esse problema, os autores também apontam que vários trabalhos propuseram extensões/adaptações flexíveis do SPARQL, introduzindo a teoria dos conjuntos fuzzy na linguagem SPARQL. Para lidar com contextualizações, a principal extensão adotada foi a f-SPARQL.

Os trabalhos de Pivert *et al.* (2016)**,** Pivert, Slama e Thion (2016) e Pivert, Slama e Thion (2017) descrevem pesquisas realizadas em sequência que te, o objetivo principal de estender a linguagem SPARQL; que posteriormente foi chamada de linguagem FURQL (*Fuzzy RDF Query Language*). Com informações de dados graduais e recursos de consulta

flexível, a FURQL permite a definição de regras de derivação específicas para SPARQL *fuzzy*.

Pivert *et al.* (2016) apresenta estudos iniciais de uma estratégia para estender a linguagem SPARQL. Para o estudo da consulta, foi considerada uma adaptação dos modelos *RDF fuzzy* propóstos por Mazzieri, Dragoni e Marche (2005) e Straccia (2009). Pivert, Slama e Thion (2016) propõe especificamente a extensão *fuzzy* da linguagem SPARQL, a linguagem FURQL, que suporta consultas flexíveis de bancos de dados de grafos RDF nítidos e *fuzzy*. A extensão *fuzzy* do SPARQL proposta permite lidar com dados *RDF fuzzy*, sob padrão formalizado por outros autores como *(s, p, o) [n] - RDF fuzzy* de nível triplo, e expressar condições estruturais *fuzzy*, ao lado de condições mais clássicas, sobre os valores dos nós presentes em um grafo *RDF fuzzy*.

Já Pivert, Slama e Thion (2017) apresentam a noção de declarações quantificadas *fuzzy* em um contexto de banco de dados *RDF fuzzy*. Os autores descrevem como essas instruções podem ser definidas e implementadas no FURQL (*Fuzzy RDF Query Language*). Usando como ponto de partida o trabalho anterior, em que consultas eram feitas no contexto de bancos de dados de grafos nítidos, integra as declarações quantificadas *fuzzy* em uma consulta FURQL endereçada a um banco de dados *RDF fuzzy*. Foram realizados alguns experimentos para estudar o desempenho e o resultado dessas experiências mostram que o custo extra induzido pela natureza difusa das consultas permanece limitado, mesmo no caso de consultas quantificadas difusas bastante complexas. Neste trabalho, o modelo *RDF fuzzy* utilizado para consulta é o *(s, p, o) [n] - RDF fuzzy* de nível triplo, proposto por Zimmermann *et al.* (2012), onde *(s, p, o)* é a tripla tradicional *s=sujeito*, *p=predicado* e *o=valor* e um valor de crença (associado ao triplo RDF) é definido como n, sendo $n \in [0, 1]$.

Outra extensão *fuzzy* da linguagem de consulta SPARQL, chamada FSA-SPARQL (Fuzzy Sets and Aggregators based SPARQL) é proposta por Almendros-Jimenez, Becerra-Terón e Moreno (2018). Esta extensão fornece mecanismos para expressar consultas difusas em dados RDF, na qual as consultas podem envolver diferentes conectivos difusos (*Product*, *Łukasiewicz* e *Gödel*), modificadores linguísticos: VERY, MORE_OR_LESS, igualdade/desigualdades *fuzzy*: CLOSE_TO, AT_MOST e AT_LEAST, bem como operações de agregação *fuzzy* MEAN, WSUM, WMIN e WMAX. A imprecisão é representada por um grau de verdade (ou seja, um valor real no intervalo *[0,1]*) associado

aos relacionamentos rdf: *type*, *rdfs: subClassOf* e *rdfs: subPropertyOf*, bem como às propriedades de tipos de dados e objetos, por exemplo: se o rdf:type possui uma semântica *fuzzy*, de tal forma que Peter *rdf:type (height Tall 0.75)* afirma que Peter, de acordo com a altura (*height*), é *Tall* em um grau *0.75*. O FSA-SPARQL trabalha com redes sociais, permite a transformação e a fuzzificação de dados de suas APIs e oferece uma ampla gama de mecanismos de classificação e categorização, incluindo análise de sentimento e detecção de tópicos.

Por fim apresenta-se Li, Yan e Ma (2019a) que adota um modelo abstrato de grafo *RDF fuzzy*, formalizado pelos autores em Ma, Li e Yan (2018), e investiga como responder eficientemente às consultas *RDF fuzzy* em vez de como modelar os dados *RDF fuzzy*. O modelo explorado é um modelo de grafo *RDF fuzzy* geral que considera a imprecisão de nível de elemento com base na teoria de grafos *fuzzy*. Propõe-se agora padrões de grafos *fuzzy* que permitem consultar um modelo de dados *RDF fuzzy* e expressar preferências em dados por meio de condições difusas e, na estrutura do grafo de dados, com expressões regulares. Por fim, apresentou-se uma abordagem para avaliar padrões de grafos RDF, a fim de responder eficientemente às consultas de padrões de sub-grafos sobre o grafo de dados *RDF fuzzy*.

3.3 Considerações finais das revisões sistemáticas

Um dos principais atrativos da Internet é a possibilidade de compartilhamento, por pessoas e aplicativos, de informações e serviços. Porém, como já mencionado anteriormente, há uma grande dificuldade em se lidar com o significado do conteúdo compartilhado. No contexto apresentado, as ontologias *web* desempenham um papel importante no apoio à troca e ao compartilhamento de informações, já que tem a capacidade de descrever formalmente objetos e suas características.

Hard ontologies, que tem uma estrutura determinista e inflexível, são incompatíveis com sistemas contemporâneos dinamicamente evolutivos, que dependem de uma abordagem de interpretação aberta. Já as *soft ontologies* são especialmente importantes quando se trata da representação de domínios de conhecimento mal definidos ou dinamicamente flexíveis, cuja representação seria dificultada por ontologias formais convencionais.

Kaipainen *et al.* (2011) e Pugliese e Lehtonen (2011) exploraram o contexto de sistemas enativos e apontam que, para sua implementação, ontologias flexíveis são mais adequadas. No entanto não apresentam as técnicas avançadas para construção das *soft ontologies*.

No contexto das *soft ontologies*, muitos desafios e questões permanecem abertas. De acordo com Vera *et al.* (2013), isso decorre da dificuldade de se encontrar um acordo sobre vocabulários comuns e conceituações compartilhadas, mesmo em domínios restritos. Vários trabalhos apontam o uso de *soft ontologies* como recurso viável em uma dada situação, porém não deixam claro como construí-las.

Do ponto de vista da representação do conhecimento, o *Resource Description Framework (RDF)* é um modelo de metadados padrão, proposto pelo W3C, para descrever recursos da *Web* de maneira compreensível por máquinas. Porém nas situações em que a informação é vaga ou ambígua, sob a semântica clássica, o *RDF* pode não ser eficiente para representá-la. Assim, é necessário usar representações não rígidas para processar informações semânticas de imprecisão no modelo de dados *RDF*. Esta revisão sistemática levantou vários trabalhos nesta área. Percebe-se que a maioria das propostas compartilham uma abordagem comum, a de estender o modelo de dados *RDF*, anexando metainformações às triplas *RDF*, criando propostas de modelos de dados *RDF fuzzy*.

Dos **18 artigos** classificados como válidos para análise nos estudos de *soft ontologies* (tópico 3.1), e dos **21 artigos** analisados na revisão sistemática de *RDF fuzzy* (tópico 3.2), apenas Bonacin, Calado e Dos Reis (2018) apresentam a possibilidade de construir-se *soft ontologies* por meio de *RDF fuzzy.* Porém, apenas foi apresentado modelos de teste para a validação de um meta-modelo para interoperabilidade ontológica, bem como não apresenta mecanismos de inferência e recuperação de informação. O presente trabalho, assim como Bonacin, Calado e Dos Reis (2018) e Lombello, Dos Reis e Bonacin (2019), propõe o uso do *RDF fuzzy* para a construção de *soft ontologies*, porém seu diferencial em relação a todos trabalhos analisados está na proposta de uma arquitetura para recomendação e apoio a decisão, na implementação e no uso dessa ontologia em um protótipo funcional para auxílio ao usuário, mais especificamente no planejamento de treinamento físico, incluindo, portanto, aspetos de inferência e recuperação de informações para esse contexto.

4. Arquitetura conceitual para modelagem e uso de *soft ontologies*

Este capítulo apresenta a proposta de uma arquitetura conceitual e modelo de *soft ontology*, usando *RDF fuzzy*, que permite a implementação de sistemas dinamicamente evolutivos.

A construção de ontologias é uma tarefa complexa, requer alguns critérios e metodologias para que possam ser bem desenvolvidas e envolve atividades como análise conceitual e modelagem de domínio. Sendo assim, existem inúmeras regras para criação de ontologias que devem ser consideradas e sua representação está diretamente ligada a concepção de orientação a objetos, no intuito de facilitar a implementação pelos desenvolvedores de software.

Uma ontologia deve considerar um domínio e uma hierarquia de classes e subclasses desse domínio, além de suas relações, ou seja, associações que podem apresentar um conjunto de instâncias derivadas do conhecimento. Um dos recursos importantes para as ontologias e para a *Web* Semântica é o *RDF*, que é explorado neste trabalho.

4.1. Metodologia de Pesquisa

Considerando o contexto apresentado até aqui e para que seja possível construir *soft ontologies* objetivando a implementação de sistemas dinamicamente evolutivos, os pontos principais do modelo proposto neste trabalho são: uso de uma base de conhecimento ontológica flexível, uso de uma adaptação do RDF para *RDF fuzzy* que possibilite a representação do conhecimento da *soft ontology* e uso de algoritmos que permitem a atualização de valores do grafo *RDF fuzzy* e inclusão de dimensões nas *ontospaces*.

A fim de atingir o objetivo principal, foram identificadas algumas etapas a serem executadas:

- Inicialmente a realização do levantamento bibliográfico para fundamentação teórica (*cf.*, Capítulo 2) e para a revisão sistemática (*cf.*, Capítulo 3). A fundamentação é importante para apresentar um estudo

teórico sobre *web* semântica e suas tecnologias, permitindo um melhor entendimento do projeto realizado. Já a revisão sistemática permitiu levantamento de trabalhos correlatos já apresentados na área.

- Apresentação da arquitetura conceitual da modelagem ontológica proposta neste trabalho. Esta modelagem será apresentada na seção 4.2.
- Para que seja possível analisar os resultados, foram criados cenários de uso. Um experimento permitiu visualizar como a *soft ontology* é influenciada ao longo da interação. Baseado nas necessidades da modelagem apresentada, foi criada uma *hard ontology*, que serviu de base de conhecimento ontológico inicial, e que será usada por um protótipo funcional[7].
- Por fim, foi realizada a validação da proposta em um estudo de caso em uma academia de ginastica, com apoio de especialistas.

A próxima seção apresenta a proposta de solução deste trabalho para *soft ontologies*.

4.2. Proposta e Aplicação de uma Arquitetura Conceitual para Modelagem e Uso de Soft Ontologies

Por meio da análise da fundamentação teórica foi constatada que a base de conhecimento representada em uma ontologia deve ser conectada, compartilhável e permitir a interoperabilidade e a possibilidade de lidar com o acúmulo de conhecimento. Uma solução em *RDF Fuzzy* visa garantir a coexistência de *soft* e *hard ontologies* bem como garantir a interoperabilidade com modelos existentes a partir das tecnologias padrões da *Web* semântica.

A proposta de solução é apresentada em duas etapas, sendo:

- **Arquitetura conceitual da modelagem da *soft ontology*:** apresenta a arquitetura conceitual do modelo e detalha o processo genérico que permite

[7] Protótipo funcional inclui telas e funcionalidades que simulam uma situação de uma aplicação para o usuário final.

sua implementação. A arquitetura conceitual encontra-se na subseção 4.2.1.

- **Aplicação da arquitetura proposta em um cenário de teste:** define o cenário de teste em que a arquitetura foi implementada, permitindo inferência e análise dos resultados. O cenário de teste foi detalhado na subseção 4.2.2

4.2.1. Arquitetura conceitual para modelagem da *soft ontology*

O projeto conceitual permite entender o modelo da arquitetura conceitual proposta para atender aos requisitos necessários à criação da *soft ontology*, no contexto de sistemas de recomendação e apoio a decisão. Por meio deste modelo, são estabelecidas as fases de solução para o problema apresentado.

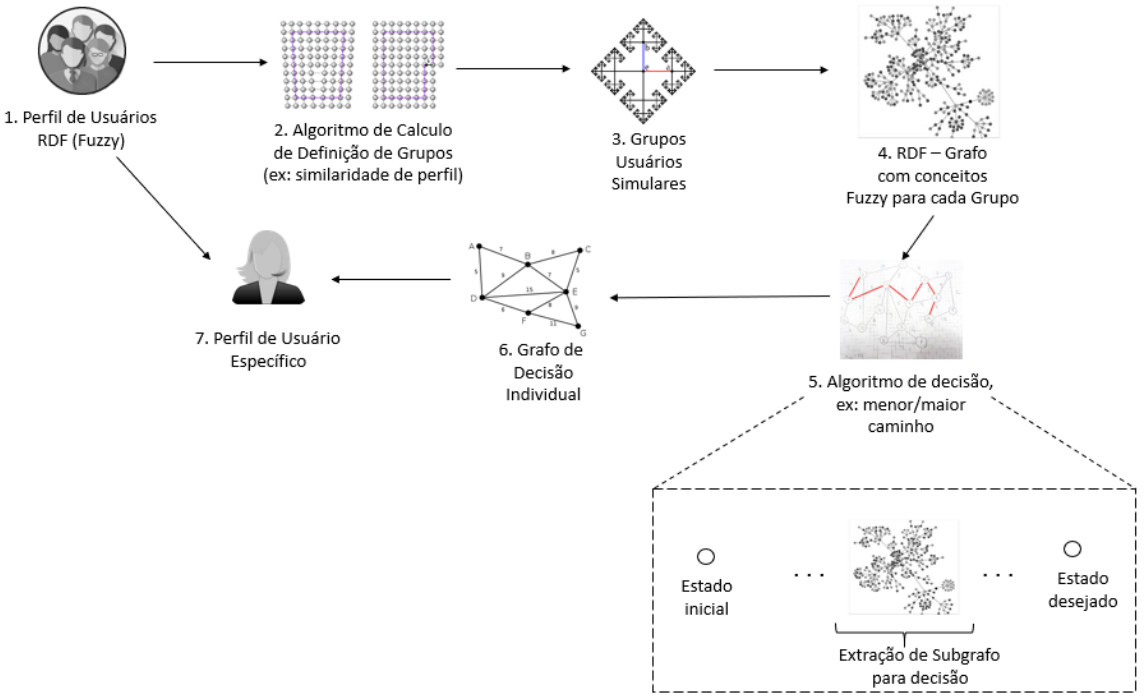
Com o objetivo de facilitar a compreensão, foram enumerados e explicados os elementos que indicam comportamento da arquitetura proposta neste trabalho. A descrição de cada elemento encontra-se na Tabela 14.

Tabela 14 - Elementos da arquiteura conceitual da *soft ontology*.

Item	Elemento	Descrição
1	Perfil de Usuários	Representa o conjunto de informações de perfil. Essas informações são descritas em *RDF Fuzzy*.
2	Algoritmo de Definição de Grupos	Representa um algoritmo de agrupamento por similaridade, que será utilizado para criar grupos de usuários que possuem características e/ou comportamentos específicos, por exemplo, calculando a similaridade entre grafos RDF.
3	Grupos de Usuários	Representa os grupos de usuários similares, criados pelo algoritmo do item #2.
4	*RDF fuzzy* – Grafo com conceitos ajustados para cada grupo	Diz respeito aos aspectos da ontologia com conceitos *fuzzy*, que são representados por um grafo *RDF fuzzy*. É um subgrafo da *soft ontology* com pesos ajustados de acordo com cada grupo de usuários.
5	Algoritmo de decisão	Representa um algoritmo de decisão que explora o grafo do item #4 e elabora um plano de ação, por exemplo, o melhor conjunto de atividades de treino.
6	Grafo de Decisão Individual	Subgrafo *RDF fuzzy* descrevendo o plano de ação para um indivíduo/situação. Esse subgrafo pode, por exemplo, apontar quais as ações que um usuário (ou sistema) específico deve realizar.
7	Perfil de Usuário Específico	Grafo *RDF fuzzy* descrevendo informações sobre um usuário específico. Essas informações serão utilizadas para determinar a que grupo um usuário pertence.

A Figura 12 ilustra a arquitetura conceitual da modelagem ontológica flexível e expansível proposta neste trabalho. A figura apresenta sete componentes envolvidos no processo que constitui a organização e uso de *soft ontologies*; dado um conjunto de usuários, define-se como representar conceitos da *soft ontology* em grafos *RDF fuzzy* e como usar esses grafos para tomadas de decisão. De maneira geral, espera-se que a partir do modelo apresentado, seja possível compartilhar conhecimento personalizável, influenciável e que atenda de maneira mais completa às necessidades de uma dada situação de incerteza e conceitos mal definidos.

Figura 12 - Arquitetura conceitual da modelagem da *soft ontology*.



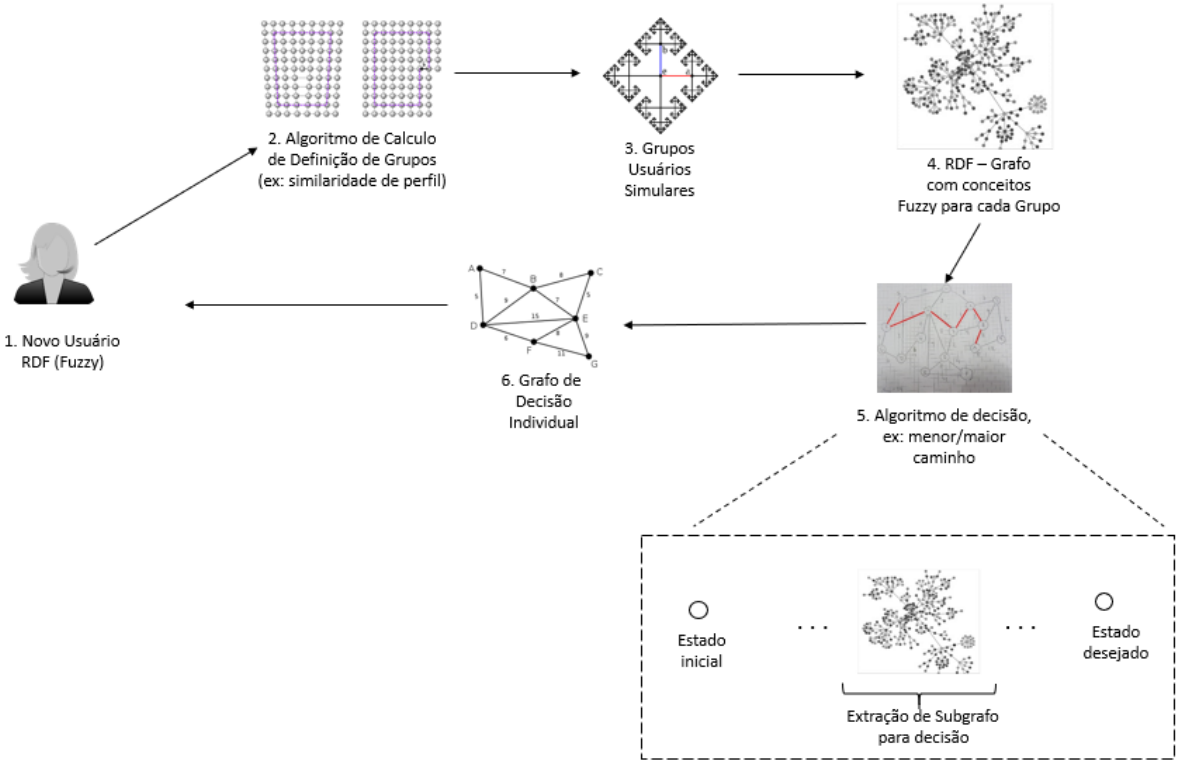
A seguir é apresentada uma breve explicação da Figura 12:

- Considere que, baseado nas informações dos usuários, descritas em *RDF fuzzy*, de um conjunto de usuários cadastrados (item #1 - Figura 12 e Tabela 14), um algoritmo de definição de grupos (item #2 - Figura 12 e Tabela 14) deve ser capaz de criar grupos de usuários (*clusters* de usuários, item #3 - Figura 12 e Tabela 14) que possuem características e/ou comportamentos similares.

- Uma vez identificados os grupos de usuários similares, todas as informações coletadas (*e.g.*, *feedback*, ações, dados de sensores) dos membros desse grupo darão origem e atualizarão grafos *RDF fuzzy* (item #4 - Figura 12 e Tabela 14). Cada grafo *RDF fuzzy* é ponderado e os pesos das arestas são calculadas considerando as informações coletadas do conjunto de usuários do respectivo grupo. Esse grafo representará um espaço ontológico único (*ontospace*), se comparado com os grafos de outros grupos.
- Será utilizado um algoritmo de decisão (item #5 - Figura 12 e e Tabela 14) para percorrer os grafos de conceitos *fuzzy* de cada grupo (item #4 - Figura 12 e Tabela 14). Ele determina a melhor decisão para um usuário específico dentro do grupo, por exemplo, um conjunto de ações a serem executadas por um sistema (ou robô), alterações em uma interface interativa, ações recomendadas para especialistas em domínio ou um plano de exercícios de ginástica. Um algoritmo de caminho mais curto, por exemplo, pode ser usado para determinar o menor (ou maior) caminho entre um estado inicial e um estado desejado em um grafo de grupo representando sequências de ações/estados possíveis.
- Um grafo de decisão individual (item #6 da Figura 12 e Tabela 14) é usado para descrever a decisão a ser tomada para um usuário e situação específicia. Por exemplo, no caso de um algoritmo de caminho mais curto, este grafo pode conter uma sequência de ações a serem executadas. A decisão é então apresentada a um usuário (item #7 da Figura 1 e Tabela 1).

Na arquitetura proposta, o processo que permite a inclusão de um novo usuário está organizado em seis componentes, baseados na arquitetura conceitual apresentada na Figura 12. A Figura 13, a seguir, apresenta a arquitetura da modelagem para a inclusão de um novo usuário.

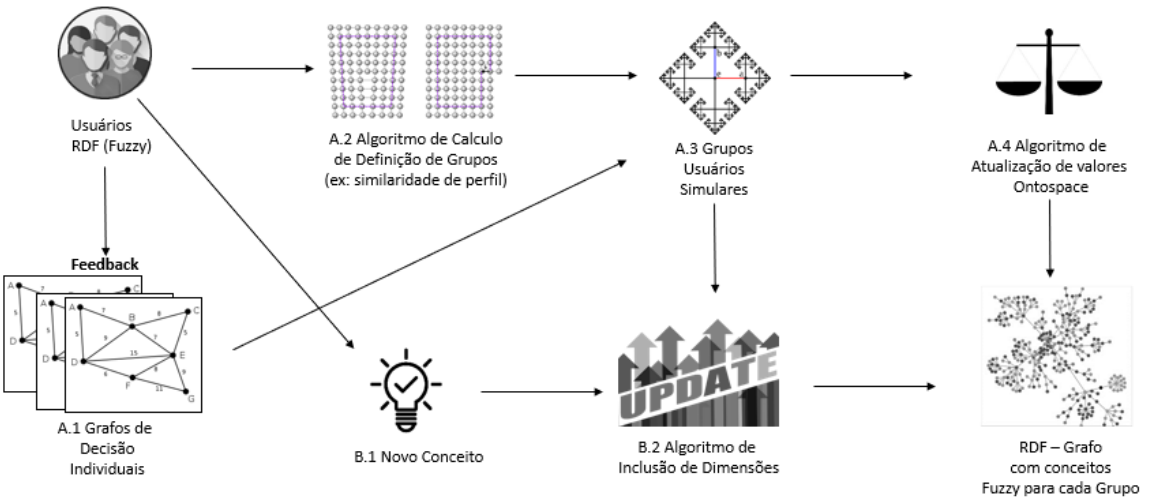
Figura 13 - Arquitetura conceitual da modelagem para a inclusão de um novo usuário.



O processo de inclusão (Figura 13) inicia-se com a análise das informações sobre o novo usuário (item #1 - Figura 13). Identifica-se então qual grupo ele pertence por meio de um algoritmo de cálculo de definição de grupos (item #2 - Figura 13). Uma vez identificado o grupo similar (item #3 - Figura 13), todas as informações dos membros desse grupo (*e.g.*, ações executadas) dão origem a grafos *RDF fuzzy* (item #4 - Figura 13). Então, é utilizado um algoritmo de decisão para percorrer os grafos de conceitos *fuzzy* de cada grupo (item #5 - Figura 13). É definido então o grafo de decisão individual (item #6 - Figura 13), que define o conjunto de ações a serem recomendadas.

Por fim, apresenta-se como a arquitetura conceitual permite as atualizações da *soft ontology* (Figura 14). Foram definidos dois tipos de atualizações: A) atualização baseada em *feedback*; B) atualização baseada na inclusão de novo conceito.

Figura 14 - arquitetura da modelagem para atualizações da *soft ontology*.



A) **Atualização baseada em *feedback***: Neste caso, será feita a atualização dos valores do grafo *RDF fuzzy* de um espaço conceitual (*ontospace*) existente (não a inclusão de novos conceitos). O processo de atualização se dá como descrito a seguir:

- Quando um usuário recebe seu grafo de decisão individual, ele fornece um *feedback* relacionado a essa recomendação (ou ação realizada pelo sistema). Esse *feedback* pode incluir atos explícitos (por exemplo, aceitar ou rejeitar uma decisão) ou indiretos (por exemplo, dados do sensor, consequências das ações, expressões corporais). Os resultados do *feedback* são fonte para alterações no grafo de decisão individual (item # A.1 - Figura 14). Por exemplo, quando alguém decide executar uma ação diferente (da sugerida), essa ação é atualizada no grafo de decisão individual alterando seus pesos (por exemplo, diminui o peso da ação sugerida e aumenta o peso da ação executada).
- Após um tempo predeterminado, os grafos de decisão individuais (item #A.1 - Figura 14) são usados para atualizar (por meio de grafos de grupos) a *soft ontology*. Para isso, é necessário reavaliar a homogeneidade dos grupos (item #A.3 - Figura 14), utilizando o algoritmo de definição de grupo novamente (item #A.2 – Figura 14). Os grupos com usuários semelhantes e os grafos individuais

são usados pelo algoritmo de atualização de valores do *ontospace* (item #A.4 - Figura 14). Algoritmos e estratégias diferentes para atualização podem ser usadas conforme necessário. Por exemplo, uma alternativa direta é ajustar os pesos do grafo de grupo de acordo com a média dos pesos dos gráficos individuais de seus membros.

B) **Atualização por inclusão de novo conceito**: esse processo de atualização será utilizado quando houver a necessidade de acrescentar uma nova ontodimensão à *soft ontology*. Em seguida, é apresentada a descrição do processo:

- Partindo da necessidade de se incluir um novo conceito/ação (Item B.1 - Figura 14) no grafo *RDF fuzzy* dos grupos, o algoritmo de inclusão de dimensões (item B.2 - Figura 14) deve ser capaz de modificar o grafo atual, fazendo a inclusão do conceito inexistente. Isso é realizado com a inclusão de novas triplas RDF, incluindo o conceito e seus relacionamentos. A adição de um novo conceito pode ser geral e aplicável a todos os grupos, ou essa inclusão pode ser restrita a grupos específicos.
- Ao incluir o novo conceito no grafo *RDF fuzzy*, o algoritmo de inclusão de dimensões fica, ainda, responsável por atribuir um peso ao novo nó. Esse peso pode, por exemplo, ser um valor *default* pré-determinado ou, considerar soluções mais sofisticadas, como realizar o cálculo de similaridade de conceitos/ação e derivar-se o peso baseado na proximidade do novo conceito/ação a conceitos/ações já existentes.

O modelo proposto foi pensado de maneira ampla e contempla para diversas situações que exigem análise de comportamento de usuários e tomadas de decisão personalizadas. Alguns exemplos de aplicações inteligentes são:

- **Redes sociais:** quando pode-se fazer sugestão de propagandas baseado no que os usuários de um determinado grupo social com interesse mútuo e influenciado pela quantidade de cliques;

- **Ambientes de aprendizado:** onde um professor sugere atividades personalizadas para seus alunos baseado em suas afinidades e resultados;
- **Rotina de atividades físicas:** onde pode ser feita a sugestão de treino influenciado que considera as metas e características de grupos de usuários com objetivos comuns;
- **Comportamento de robôs inteligentes:** o comportamento do robô pode ser modificado à medida que ele interage com os usuários e analisa a conduta das pessoas em relação às suas ações.

Uma vez apresentada a arquitetura conceitual, foi feita a aplicação do modelo proposto em um cenário de avaliação. Isso permitiu sua avaliação e a análise de resultados. O cenário de avaliação é detalhado na subseção 4.2.2, a seguir.

4.2.2. Cenário de Avaliação: sistema de sugestão de treino em academia

A fim de testar o funcionamento da *soft ontology* foi feita uma avalição em um cenário simplificado. Esta avaliação inclui um protótipo de sistema de sugestão de treino para academia (OntoGymWP – *Ontology based Gym Workout Planner*), que faz uso do conceito de *soft ontology*.

Na área da saúde, na qual centramos a avaliação, existem inúmeras aplicações que ajudam as pessoas interessadas em melhorar sua performance física. Porém, elas usam dados externos provenientes de seus Bancos de Dados, ou por meio de digitação manual de um profissional em educação física, para a sugestão de treinos. Usualmente, esse profissional, aqui tratado como *Personal Trainer*, analisa a anamnese do indivíduo somada ao objetivo desejado por ele, e por meio de seu conhecimento indica o melhor treino a ser realizado. Para a sugestão de treino, segue as regras e alternativas previamente conhecidas da bibliografia existente da educação física; ou seja, indica um treino padrão para situação do indivíduo, com movimentos e repetições adequadas ao seu biótipo.

Baseado no contexto de *soft ontology* e tecnologias associadas, é apresentado um protótipo para gerar, automaticamente, treinos para usuários de academia, que atendem de maneira mais personalizada às características e necessidades de cada indivíduo, já que o objetivo deste protótipo é realizar uma avaliação da aplicação da arquitetura proposta

neste trabalho. A Tabela 15 apresenta associação dos elementos da arquitetura conceitual aos elementos do modelo concreto para avaliação utilizado no protótipo OntoGymWP.

Tabela 15 - Associação entre os itens da arquitetura conceitual e de modelo concreto para teste.

Elementos	Item da Arquitetura Conceitual	Item no Modelo de Concreto
1	Perfil de Usuários RDF (*Fuzzy*)	Perfil dos alunos. Representa o conjunto de informações de perfil dos alunos matriculados. Essas informações são descritas em RDF.
2	Algoritmo de Cálculo de Definição de Grupos	Algoritmo de Cálculo Similaridade. Esse algoritmo será utilizado para criar grupos de usuários que possuem características semelhantes. No modelo será calculada a similaridade com base no perfil dos usuários.
3	Grupo de Usuários	Representa o grupo de usuários cujas características são similares às características de perfil de um usuário específico.
4	*RDF fuzzy* – Grafo do grupo	Diz respeito aos aspectos da ontologia com conceitos *fuzzy*, que são representados por um grafo *RDF fuzzy*, com as informações do conjunto de ações de cada grupo.
5	Algoritmo de decisão	Representa um algoritmo de decisão que aponta o melhor caminho entre um estado inicial e um estado desejado.
6	Grafo de Decisão Individual	Subgrafo de decisão individual, extraído a partir do melhor caminho apontado pelo algoritmo de decisão. Esse subgrafo aponta quais as ações que um usuário específico deve realizar.
7	Perfil de Usuário Específico	Informações do perfil de um usuário específico. Essas informações serão utilizadas para determinar a qual grupo um usuário pertence.

Uma *hard ontology*, baseada nas necessidades da modelagem apresentada, serve de base de conhecimento ontológico inicial e é usada pelo protótipo funcional para o começo das atividades do processo, gerando o conhecimento para a *soft ontology*. Esse conhecimento armazenado na *soft ontology* é flexível e influenciado ao longo do processo de interação dos usuários com o OntoGymWP.

Nesse contexto de avaliação, para a ontologia *hard* se tornar *soft* são necessários algoritmos capazes de processar elementos que visam influenciar tal ontologia, ou seja, para modificar algo rígido e transformar em uma representação *fuzzy*. Para tal, utilizou-se 4 (quatro) algoritmos, a saber:

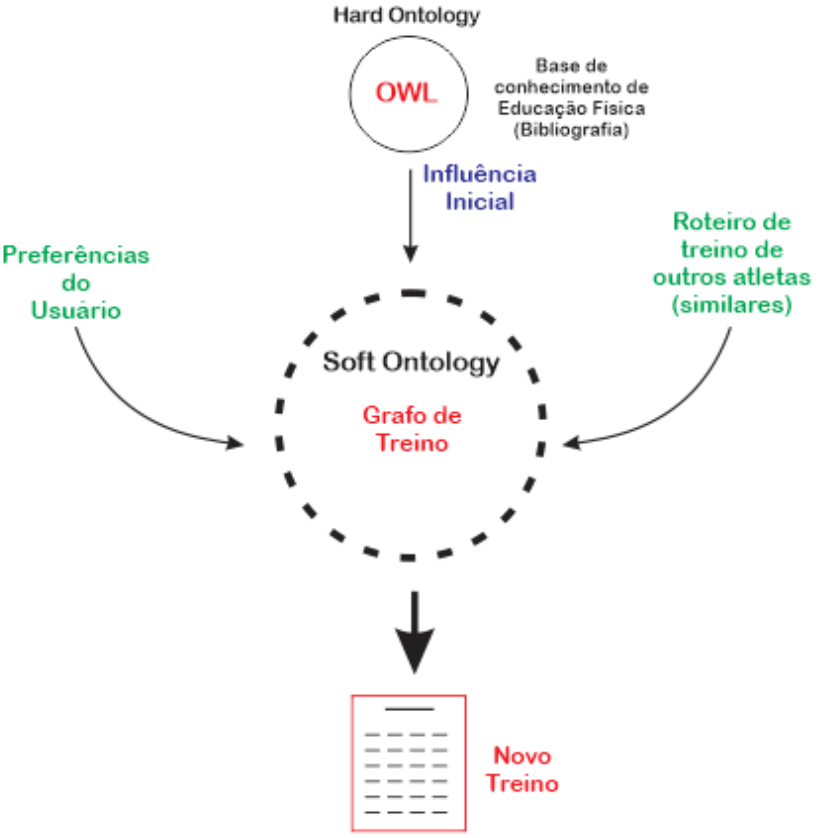
- **Algoritmo para cálculo de similaridade**: Medidas para cálculo da proximidade de atletas para dados com diferentes tipos de atributos (está detalhado na subseção 4.2.2.1);

- **Algoritmo de decisão (baseado no algoritmo Dijkstra)**: Para mostrar o caminho mais curto num grafo com arestas ponderadas e de peso não negativo (está detalhado na subseção 4.2.2.2);
- **Algoritmo para atualização da *ontospace***: Para atualizar os valores do grafo *RDF fuzzy* foi considerado o *feedback* dos alunos (está detalhado na subseção 4.2.2.3);
- **Algoritmo para inclusão de uma nova ontodimensão**: Permitirá incluir uma nova dimensão ao grafo *RDF fuzzy* (está explicado na detalhado 4.2.2.4).

A seguir são apresentados mais detalhes tanto do estudo, quanto do funcionamento dos algoritmos mencionados. Os pontos principais deste cenário são:

- No cenário propõe-se a possibilidade de fazer com que uma aplicação, capaz de analisar o conhecimento representado na ontologia, características físicas, objetivos e preferências dos usuários, faça a sugestão inteligente e personalizada de treinos para academia. Com base em características desejáveis de sistemas e sociais, as sugestões do sistema devem ser influenciadas tanto pelas escolhas do atleta, bem como pelo treino de outros atletas semelhantes. A Figura 15 apresenta a modelagem do protótipo de sistema OntoGymWP.
- Foi criada uma *hard ontology*, que serviu de base de conhecimento ontológico inicial. Os treinos para os usuários, cujos perfis não possuem referência de outras pessoas com as mesmas características, serão montados seguindo o conhecimento desta ontologia inicial.
- Cada usuário (atleta) tipicamente fornece as informações em sua anamnese. Para tanto, deve-se informar as características pessoais e objetivos com o treino. Essas informações dão origem ao perfil dos usuários, que são representadas em RDF e são fundamentais para selecionar o grupo de pessoas, com características e objetivos próximos, que influenciarão um treino sugerido.

Figura 15 - Modelagem do sistema de treino.

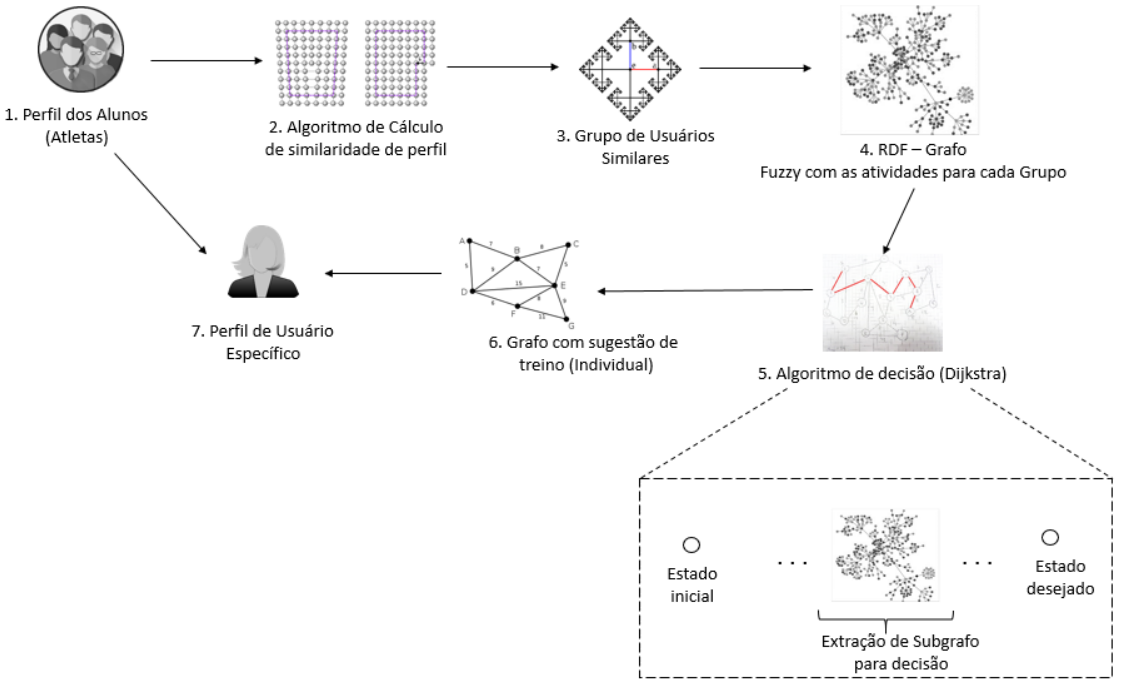


- Ao solicitar um novo treino, é necessário que se verifique quais são os indivíduos com perfils similares ao solicitante (isso será feito por meio do algoritmo de similaridade). Uma vez identificado o grupo, deve-se analisar na *soft ontology* quais são os exercícios com os maiores graus de indicação, por meio do algoritmo de decisão, e estes serão sugeridos ao atleta.
- De acordo com suas preferências ou limitações, ao receberem um treino novo, os usuários têm a possibilidade de aceitar ou alterar as sugestões de exercícios propostos. Como consequência, o grau de seletividade de cada atividade deve ser recalculado, aumentando (caso o usuário aceite) ou diminuindo (caso o usuário recuse), para o grupo ao qual aquele atleta pertencente. Essas informações serão enviadas para a base de conhecimento, utilizando-se o RDF.

A Figura 16, a seguir, é uma instância da Figura 13 e ilustra o comportamento das etapas do cenário apresentado. No exemplo é representada a sugestão de exercícios (item #6 - Figura 16) para um usuário, cujo perfil (item #7 - Figura 16) possui similaridade (item

#2 - Figura 16) a um grupo de alunos (item #3 - Figura 16) com características e objetivos específicos (item #1 - Figura 16). O conjunto de atividades realizadas pelos usuários do grupo (item #4 - Figura 16) servirão de base para a análise e tomada de decisão (item #5 - Figura 16) de sugestão de treino.

Figura 16 - Comportamento do modelo na sugestão de treino.



As subseções seguintes apresentam os algoritmos e como eles atuarão no modelo proposto. Esses algoritmos permitirão influenciar nos pesos e estrutura do modelo *RDF fuzzy*.

4.2.2.1 Algoritmo para cálculo de similaridade

Com o objetivo de descobrir grupos homogêneos de atletas, com características e objetivos próximos e que influenciarão um treino sugerido, é utilizada a ideia de agrupar objetos similares (*i.e.*, as mesmas características e objetivos dos atletas), advindas da anamnese (informações adicionais podem ser consideradas em versões futuras).

Como as informações da anamnese apresentam tipos diferentes de dados, decidiu-se usar um algoritmo para cálculo da similaridade que permite calcular a proximidade, entre os atletas com diferentes tipos de atributos, em uma matriz de dissimilaridade. Uma

matriz de dissimilaridade é uma estrutura de dados, na qual cada elemento da matriz corresponde a uma medida quantitativa da distância entre pares de objetos (atletas), onde quanto maior a distância mais dissimilar (*i.e.*, menos similar) e quanto menor a distância menos dissimilar (*i.e.*, mais similar) as pessoas são.

A solução adotada é baseada em Castro e Ferrari (2016), que permite combinar todos os tipos de atributos em uma única matriz de dissimilaridade no intervalo [0,1]. Neste caso, dado dois grupos (*i* e *j*) e (k), e sendo: *i* e *j* dois atletas que serão comparados e que possuem atributos de tipos diferentes, e *k* o valor de um dos atributos dos atletas observados, onde x_{ik} = valor do atributo *k* para a observação *i*, e x_{jk} = valor do atributo *k* para a observação *j*[8], a distância d_{ij} entre eles é representada a partir da função a seguir:

$$d(i,j) = \frac{\sum_{k=1}^{m} \delta_{ij}^{k} \; d_{ij}^{k}}{\sum_{k=1}^{m} \delta_{ij}^{k}}$$

Onde, o parâmetro $\delta_{ij}^{k} = 0$ se: (1) x_{ik} ou x_{jk} estiver ausente ou (2) $x_{ik} = x_{jk} = 0$ e o atributo *k* for binário assimétrico; caso contrário, $\delta_{ij}^{k} = 1$. A contribuição do atributo *k* para a similaridade entre *i* e *j*, d_{ij}^{k}, é calculada dependendo do tipo de atributo:

- Se *k* é binário ou nominal: $d_{ij}^{k} = 0$ se $x_{ik} = x_{jk}$; caso contrário, $d_{ij}^{k} = 1$;
- Se *k* é numérico: usar a distância normalizada *[0,1]* (i);
- Se *k* é ordinal: normalizar atributos ordinais para o intervalo *[0,1]* (ii).

O autor ainda apresenta fórmulas adicionais necessárias ao cálculo da similaridade:

- (i) Normalizando os valores de atributos para dados numéricos: deve ser feita a normalização *Max-Min* para a transformação nos dados originais, colocando-os sob um mesmo intervalo de valores, neste caso sob o intervalo *[0,1]*. Aqui, max_a e mim_a são, respectivamente, os valores máximo e mínimo de determinado atributo *a*, $novo_{max_a}$ e $novo_{mim_a}$ são, respectivamente, os valores máximo (*valor 1*) e mínimo (*valor 0*) do novo intervalo definido para o atributo *a*, e a normalização mapeará o valor *a* em

[8] x_{ik} e x_{jk} não aparecem na função pois representam os valores de um dos atributos dos atletas que estão sendo comparados e, dependendo da observação desses atributos, atribuem o valor 0 ou 1 ao parâmetro δ_{ij}^{k}.

a' (*i.e., a'* representando o novo valor normalizado) no domínio, de acordo com a equação:

$$a' = \frac{a - min_a}{max_a - min_a}\left(novo_{\max_a} - novo_{\min_a}\right) + novo_{\min_a}$$

- (ii) normalizando atributos ordinais para o intervalo *[0,1]*: é aplicado para dados discretos ou contínuos, onde a ordem é relevante. Seja *j* um atributo de um conjunto de variáveis ordinais descrevendo *n* objetos. O cálculo da distância em relação à *j* envolve duas etapas:
    - Assuma que o valor de *j* para o *i*-ésimo objeto é x_{ij} e que *j* possui p_j valores ordenados, representando o *ranking* r_{ij}[9] $= 1, \ldots, p_j$. Substitua x_{ij} pelo seu valor no *ranking* r_{ij} *(i.e.* posição corresponde ao elemento no *ranking*), onde $r_{ij} \in \{1, \ldots, p_j\}$;
    - Como cada atributo ordinal pode possuir uma diferente quantidade de valores, é necessário mapear o domínio de cada atributo no intervalo *[0,1]*, de forma que todos os atributos possuam o mesmo intervalo de peso. Isso pode ser feito substituindo o *ranking* r_{ij} do *j*-ésimo atributo do *i*-ésimo objeto por:

$$z_{ij} = \frac{r_{ij} - 1}{p_j - 1}$$

Onde z_{ij} correspondem aos novos valores calculados e subtituidos para cada atributo.

A escolha desta técnica permite combinar todos os atributos, mesmo no caso de objetos com atributos mistos, em uma única matriz de similaridade. O resultado do cálculo aponta o quão diferentes os objetos comparados são e quanto menor o resultado do índice de similaridade, que pode variar entre [0 e 1], mais semelhantes os objetos comparados são.

[9] Corresponde ao conjunto de posições dos elementos que compõem o *ranking* dos valores ordenados.

Para o presente trabalho, são selecionados inicialmente os *30* atletas com os menores índices de similaridade (*i.e*, os *30* atletas mais similares[10]) ao atleta, para que seja feita a sugestão de treino.

O cálculo de similaridade feito leva em consideração dois fatores:

- É calculada a similaridade apenas de pessoas do mesmo sexo. Isso se justifica, pois, as características físicas e de treino possuem grande diferença entre pessoas do sexo oposto. Sendo assim, o atributo sexo não será considerado para o cálculo de similaridade.
- Para calcular a similaridade dos atletas serão considerados o conjunto inicial com atributos a seguir (podendo incorporar novos atributos em versões posteriores):
    - *Idade*: atributo numérico. Será calculada a distância normalizada para dados numéricos;
    - *Peso*: atributo numérico contínuo. Será calculada a distância normalizada para dados numéricos;
    - *Altura*: atributo numérico contínuo. Será calculada a distância normalizada para dados numéricos;
    - *Tipo*: Atributo ordinal e corresponde ao tipo de atleta. Um atleta poderá ser classificado em "sedentário", "não sedentário" e "atleta". Será feita a normalização do atributo para o intervalo *[0,1]*.
    - *Objetivo*: Atributo nominal e corresponde ao objetivo de treino do atleta. Para este protótipo, os possíveis objetivos de um atleta são: "perder peso", "ganhar massa" e "condicionamento físico". Ao comparar este atributo de dois atletas, será considerado *0* se *se os valores forem iguais;* caso contrário será considerado *1*.

[10] A escolha de 30 atletas para compor o grupo similar se deve ao fato da base de dados, para a realização do teste funcional, conter 300 pessoas cadastradas. Sendo assim, 30 atletas correspondem à 10% do total cadastrado.

4.2.2.2 Extração de Subgrafo RDF baseado no Algoritmo Dijkstra

Como o grafo RDF utilizado neste trabalho será um grafo ponderado, foi escolhido o algoritmo Dijkstra, que é uma opção de algoritmo para trabalhar com este tipo de grafo. Assim, o algoritmo indicará o menor caminho entre dois vértices, ou seja, de um vértice *s* (estado pré-treino) a um outro vértice *t* (que indica o estado de treino completo), onde o caminho percorre as sugestões de exercícios de treino aos atletas.

Após selecionar o grupo de atletas similares, a partir do algoritmo de menor caminho e baseado nas informações do grafo *RDF fuzzy* que possui os graus de indicação das atividades que estão sendo feitas pelos demais pessoas, será possível identificar e sugerir quais exercícios são indicados ao novo atleta.

Em Nicoletti e Hruschka Jr (2013), encontra-se uma descrição do algoritmo Dijkstra. Na descrição, a convenção adotada é: $\infty + x = \infty$, para qualquer número real x e $\infty + \infty = \infty$. A seguir, na Figura 17, encontra-se a descrição do algoritmo de Dijkstra exposto pelos autores.

Supondo um grafo ponderado de *s* a *t*, o algoritmo de Dijkstra, partindo do vértice inicial *s*, percorre o grafo marcando os vértices pelos quais já passou e busca os vértices adjacentes de menor peso, que ainda não foram marcados, a fim de encontrar o menor caminho.

Figura 17 - Algoritmo de Dijkstra.

{Algoritmo de Dijkstra – encontra o caminho mais curto de s a t}

Passo 1. Faça $\lambda(s) = 0$. Para todos os vértices $v \neq s$, faça $\lambda(v) = \infty$. Faça $T = V$ (o conjunto de vértices de G, referido como conjunto de vértices não coloridos).

Passo 2. Seja u um vértice de T para o qual $\lambda(u)$ é mínimo.

Passo 3. Se $u = t$, pare.

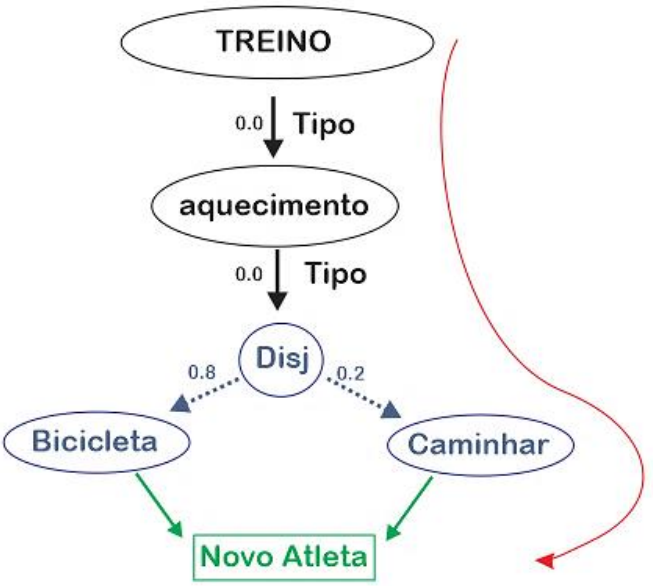
Passo 4. Para toda aresta $e = uv$ incidente com u, se $v \in T$ e $\lambda(v) > \lambda(u) + p(e)$, troque o valor de $\lambda(v)$ para $\lambda(u) + p(e)$ (ou seja, dada uma aresta e de um vértice não colorido v a u, mude $\lambda(v)$ para $\min\{\lambda(v), \lambda(u) + p(e)\}$).

Passo 5. $T \leftarrow T - \{u\}$ e vá para o passo 2 (ou seja, "colorir" u e, então, retornar ao Passo 2 para encontrar outro vértice "não colorido" com rótulo mínimo).

Fonte: Nicoletti e Hruschka Jr (2013).

Ao utilizar-se o algoritmo de Dijkstra no grafo *RDF fuzzy* do presente trabalho, ele deve percorrer o grafo identificando o caminho com os menores pesos, previamente calculados pelo algoritmo de atualização de peso de arestas, e então sugerir os exercícios ao novo atleta. A Figura 18 faz uma representação do grafo *RDF fuzzy* ponderado de treino. Observa-se que a sugestão de caminho, e consequentemente de exercício de aquecimento, ao novo treino seria a "caminhada", já que, em comparação com a "bicicleta", tem o menor valor de referência. Note que é adotado o complemento do valor *fuzzy* entre *[0,1]*, de modo que: *0* seja a crença máxima que o exercício é o mais indicado e *1* seja o menos indicado. Assim, na implementação específica para o OntoGymWP os valores estão associados à crença sobre adequação do exercício a um determinado grupo de usuários.

Figura 18 - Representação do grafo RDF ponderado de treino.



.

4.2.2.3 Algoritmo de atualização da ontospace

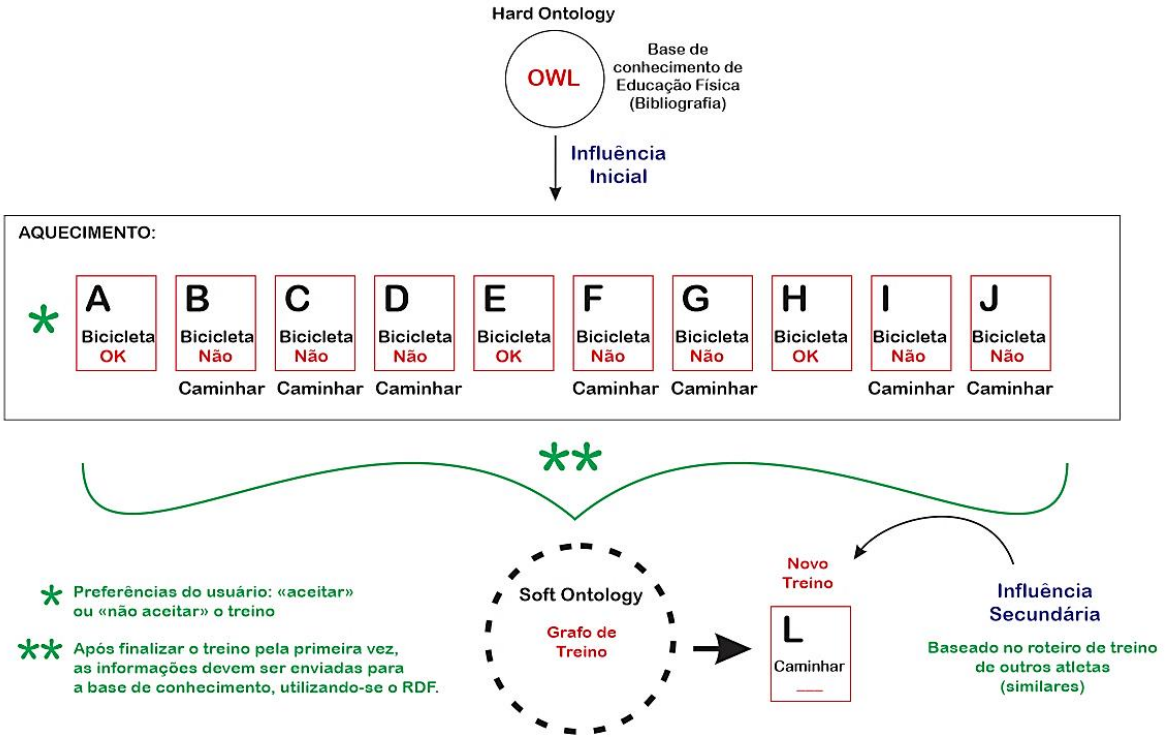
O algoritmo de atualização da *ontospace* permitirá atualizar os valores do grafo *RDF fuzzy* baseado no *feedback* dos alunos de um grupo.

Como mencionado anteriormente, ao receberem a indicação de um treino, os alunos têm a possibilidade de aceitar ou alterar as sugestões de exercícios propostos. Como consequência, o grau de seletividade de cada atividade deve ser recalculado para o

grupo ao qual aquele usuário pertencente, podendo aumentar, quando o atleta aceita a sugestão, ou diminuir, caso recuse o treino proposto. O aceite ou não, e a possível nova indicação de exercício, alteram inicialmente apenas o grafo individual de atividades (item #6 - Figura 16). Após finalizar o treino pela primeira vez, essas informações serão enviadas para o sistema e servirão para o algoritmo de atualização de *ontospace*. Ele irá compor, junto com *feedback* de outros membros do grupo, um grafo *RDF fuzzy* atualizado com novos valores (item #4 - Figura 16).

A Figura 19 ilustra o comportamento da etapa de atualização da *ontospace* no cenário proposto. Considere que o OntoGymWP fez uma sugestão de exercício para o aquecimento dos atletas. A sugestão pode ter como origem a *hard ontology*, situação que ocorre quando não é possível receber o treino da *soft ontology*, ou da análise dos treinos realizados pelos membros do grupo de pessoas similares ao solicitante. No exemplo apresentado, a sugestão de exercícios para os usuários é proveniente da *hard ontology*. Pode-se observar que a atividade proposta foi bicicleta e que a maioria dos atletas optaram pela substituição do exercício. Baseado neste contexto, ao propor um novo treino, agora já baseado no conhecimento da *soft ontology*, a aplicação apresenta sua sugestão de exercício influenciada.

Figura 19 - Exemplo de sugestão de treino influenciado - Aquecimento.



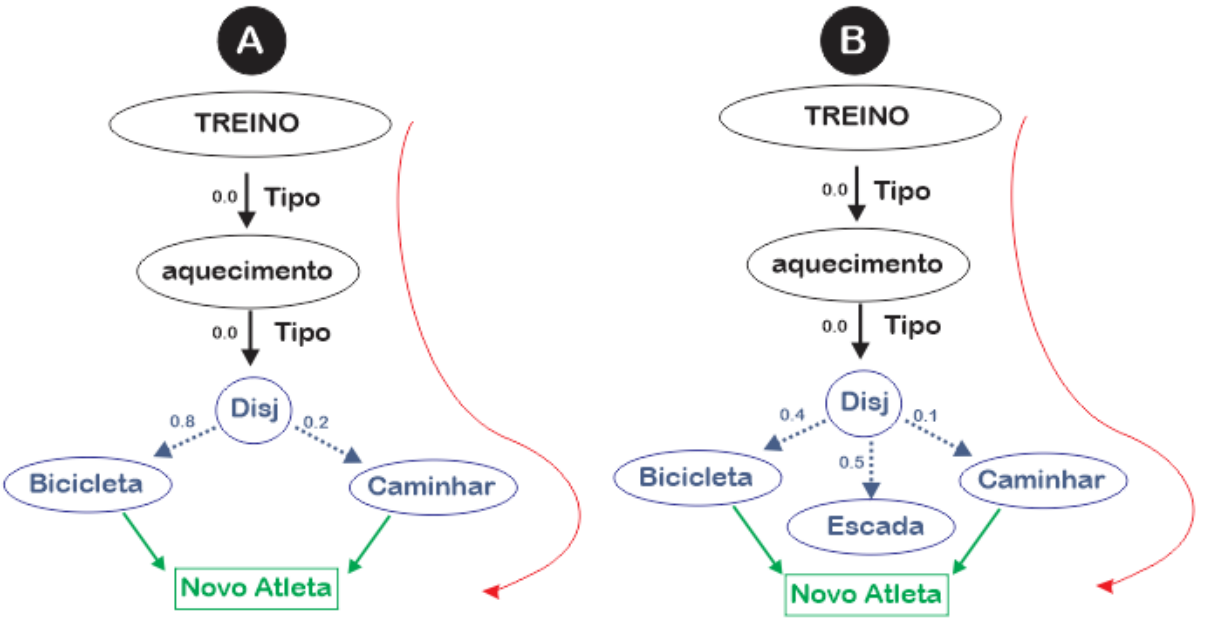
4.2.2.4 Algoritmo para inclusão de uma nova ontodimensão

Por meio do algoritmo para inclusão de uma nova ontodimensão será possível inserir um novo conceito ao grafo *RDF fuzzy*. No caso do cenário proposto, esta dimensão pode ser uma nova atividade física ou aparelho de treino.

Como o grafo *RDF fuzzy* é um grafo ponderado, ao incluir uma nova atividade, o algoritmo de inclusão de dimensões deve atribuir um peso ao novo nó. Esse peso pode ser um valor proporcional em relação aos demais nós já existentes. No protótipo apresentado neste trabalho, os nós são disjuntivos, sendo assim a soma dos pesos das arestas não deve ultrapassar o valor *1*.

Um exemplo, meramente ilustrativo e não baseado em valores reais, de como deve ser o comportamento do algoritmo de inclusão de uma nova ontodimensão (nova atividade) é representado na Figura 20. Nota-se que o grafo *RDF fuzzy* (A) possui duas possibilidades de exercícios para a atividade de aquecimento do treino. Já o grafo *RDF fuzzy* (B) representa o mesmo grafo, porém com uma terceira opção de atividade disponível aos atletas.

Figura 20 - Exemplo da inclusão de uma ontodimensão.



Para o cálculo do peso de cada nó do grafo *RDF Fuzzy*, a solução adotada nessa dissertação permite encontrar o valor, no intervalo *[0,1]*, proporcial à quantidade de

pessoas que realizam cada atividade física de um grupo de treinamento (*i.e.* aquecimento, pernas, costas e peito). No total de arestas de um grupo de exercícios, a soma dos pesos de todas as arestas não ultrapassa o valor 1.

Já que para a extração do sub-grafo de treino será usado um algoritmo de menor caminho, o valor calculado para o peso do nó deve ser um valor inversamente proporcial à quantidade de alunos que executam as atividades físicas, ou seja, quanto mais pessoas fizerem um determinado exercício menor deve ser o valor do peso da aresta.

Considereando que o grupo de atletas similares ao aluno pode ter de 1 a 30 integrantes, inicialmente é preciso identificar o peso, valor numérico, que cada atividade individual corresponde. Isso é feito para cada grupo de atividade e deve ser calculado da segunte maneira:

$$Peso_{(Ativ)} = \frac{1}{TPG}$$

Onde $Peso_{(Ativ)}$ corresponde ao valor numérico correspondente à execução de determinada atividade por cada pessoa do grupo e *TPG* corresponde ao número total de pessoas que compõem o grupo.

Para calcular o peso de cada aresta, em cada atividade física diferente executada pelos membros do grupo, deve-se considerar que:

$$Peso_{(aresta)} = \left(\frac{PAE \ * \ Peso_{(Ativ)} - 1}{PAE - 1}\right)$$

Neste caso, $Peso_{(aresta)}$ corresponde ao que será atribuído à aresta do grafo RDF Fuzzy, $Peso_{(Ativ)}$ é o peso de determinada atividade calculado anteriormente e *PAE* identifica a quantidade de pessoas do grupo que realizam a atividade física específica. Exemplos da aplicabilidade dos algoritmos serão apresentados no capítulo a seguir.

5. Protótipo OntoGymWP.

A fim de avaliar a solução de modelagem proposta neste trabalho, foi construído um protótipo, para um cenário simplificado, de sistema de sugestão de treino para academia. Esse protótipo foi denominado OntoGymWP e obteve a colaboração técnica de profissionais de educação física especializados na criação de treinos individuais (informações sobre esses profissionais são apresentadas no tópico 6.2, Avaliação Empírica).

Para a implementação do protótipo optou-se por tecnologias voltadas para a plataforma *web*, como as linguagens de programação *php* e *Javascript*. Tal escolha se deve ao fato que o uso de ontologias propicia a conexão semântica de páginas e outros recursos *web*; uma vez que elas definem mais claramente o significado do conteúdo da *web* ao possibilitar a vinculação lógica entre recursos *web*.

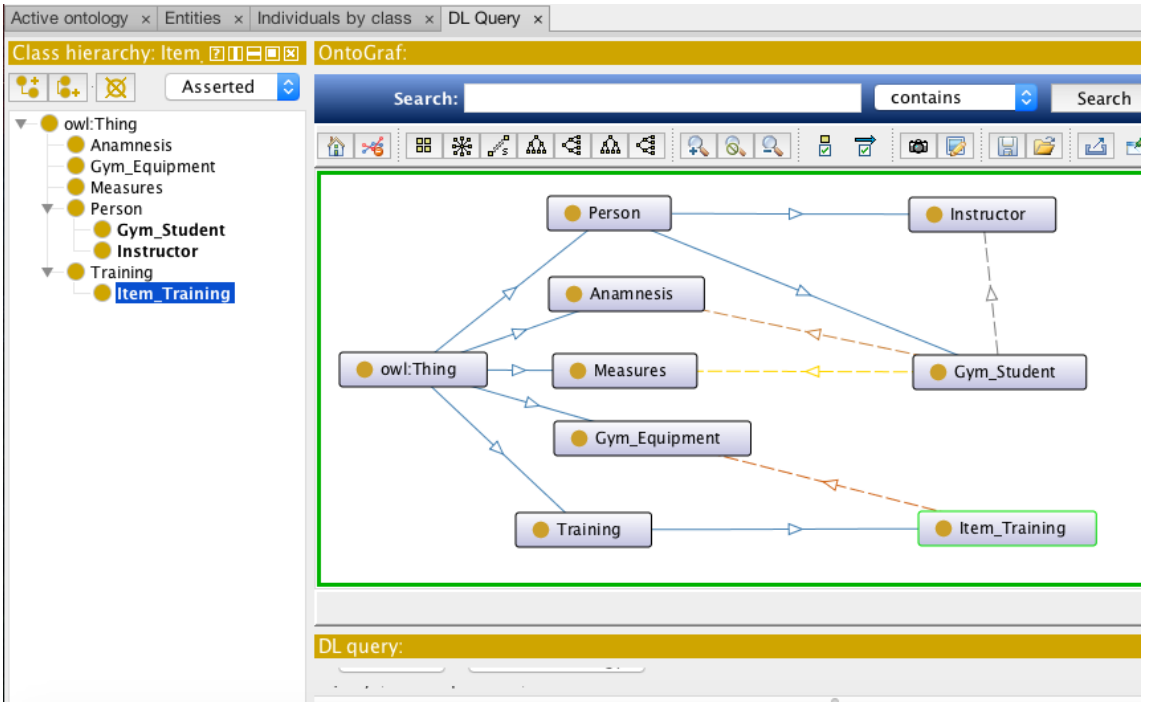
Um banco de dados para testes foi gerado para que fosse possível simular e validar o funcionamento do protótipo. Os dados que preencheram esta base de dados de exemplo foram gerados artificialmente com o uso do *Generatedata (GNU)*[11], que é uma solução capaz de gerar dados exemplos, formatados de acordo com critérios da estrutura de banco.

Usando a ferramenta Protégé[12], um editor de ontologia de código aberto gratuito, foi criada ainda uma *hard ontology* que foi utilizada como base de conhecimento ontológico inicial. Para evitar o problema conhecido como partida a frio (*cold start problem*[13]), os treinos para alunos cujos perfis não possuem semelhança mínima de 70% com nenhum outro aluno são sugeridos com base nessa *hard ontology*.

Tomando, como exemplo, o cenário de uma academia, na Figura 21 pode-se observar a estrutura da ontologia criada. A estrutura apresentada na Figura 21 é parcial e para fins ilustrativos, uma vez que a construção desta ontologia fixa é extremante particular, pois há a necessidade de se descrever a infraestrutura, como equipamentos, atividades e profissionais, por exemplo, existente no local.

[11] https://www.generatedata.com/
[12] https://protege.stanford.edu/
[13] (MIDDLETON et al., 2002)

Figura 21 - *Hard ontology* de exemplo, criada no Protégé, para o cenário de academia.



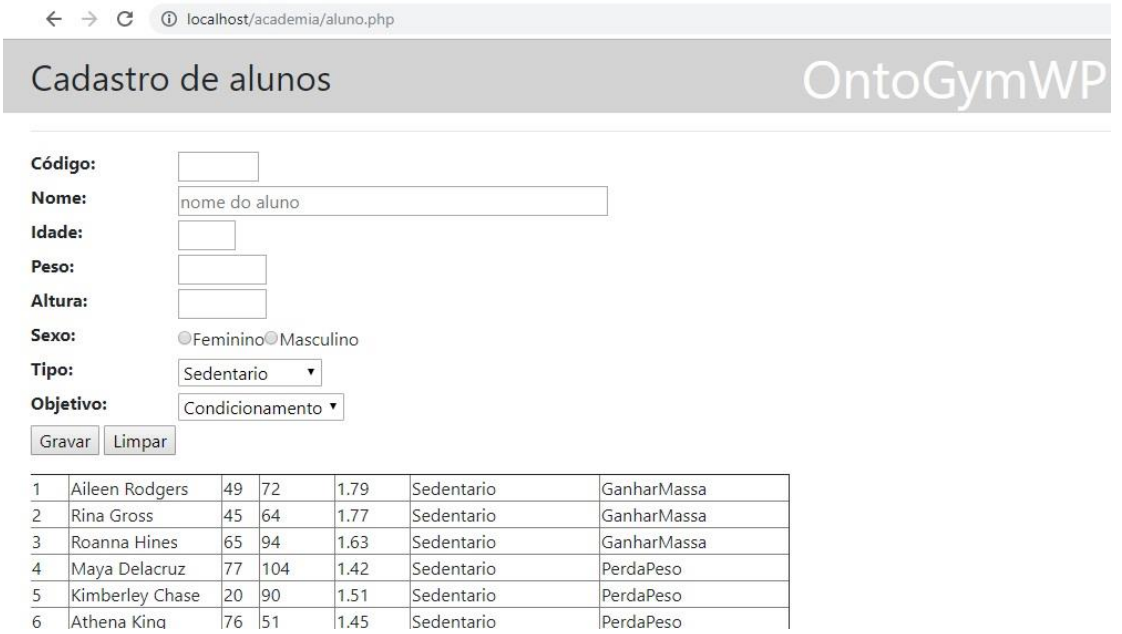
A seguir será apresentado o protótipo desenvolvido segundo o modelo proposto nesta dissertação. A Figura 22 apresenta a tela inicial, responsável pelo acesso às funcionalidades disponíveis para teste.

Figura 22 - Tela inicial do protótipo OntoGymWP.

Como já mencionado, a partir da interface inicial, tem-se acesso às funcionalidades disponíveis. Porém, para o início das atividades, esperam-se duas ações possíveis: i) cadastro de um novo aluno (item *Novo Aluno*) e ii) buscar o grupo similar a um aluno já existente (item *Buscar Similaridade*). Essas opções são detalhadas nos parágrafos a seguir.

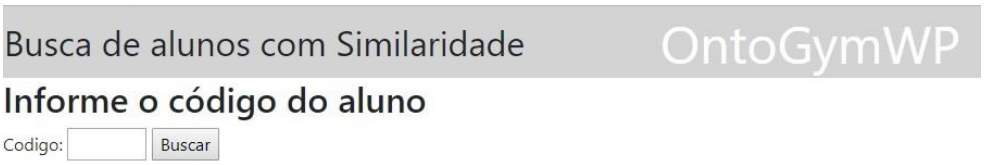
i) A Figura 23 apresenta a interface para cadastro de novos alunos. Esse cadastro está ligado a anamnese e deve-se informar tanto as características quanto os objetivos das pessoas. Nesta tela, pode-se visualizar, ainda, uma lista dos alunos já cadastrados.

Figura 23 - Tela para cadastro de novos alunos.



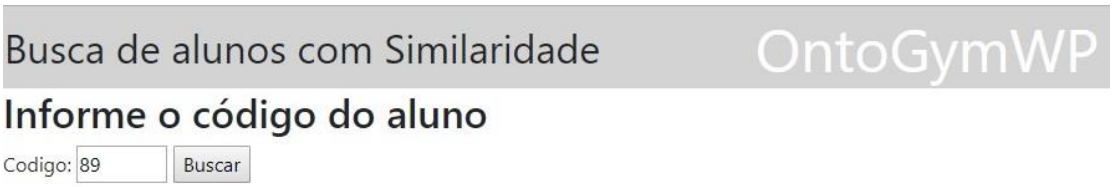
ii) Uma vez cadastrado o aluno novo ou considerando um aluno previamente existente, a partir da Figura 24, pode-se buscar o grupo de alunos que possuem características semelhantes ao aluno de referência. Aqui o algoritmo de similaridade leva (na versão atual) em consideração dados como sexo, idade, peso, altura, tipo e objetivo para calcular a semelhança entre o usuário pesquisado e os demais alunos cadastrados.

Figura 24 - Tela para buscar dados do aluno e lista do grupo similar.



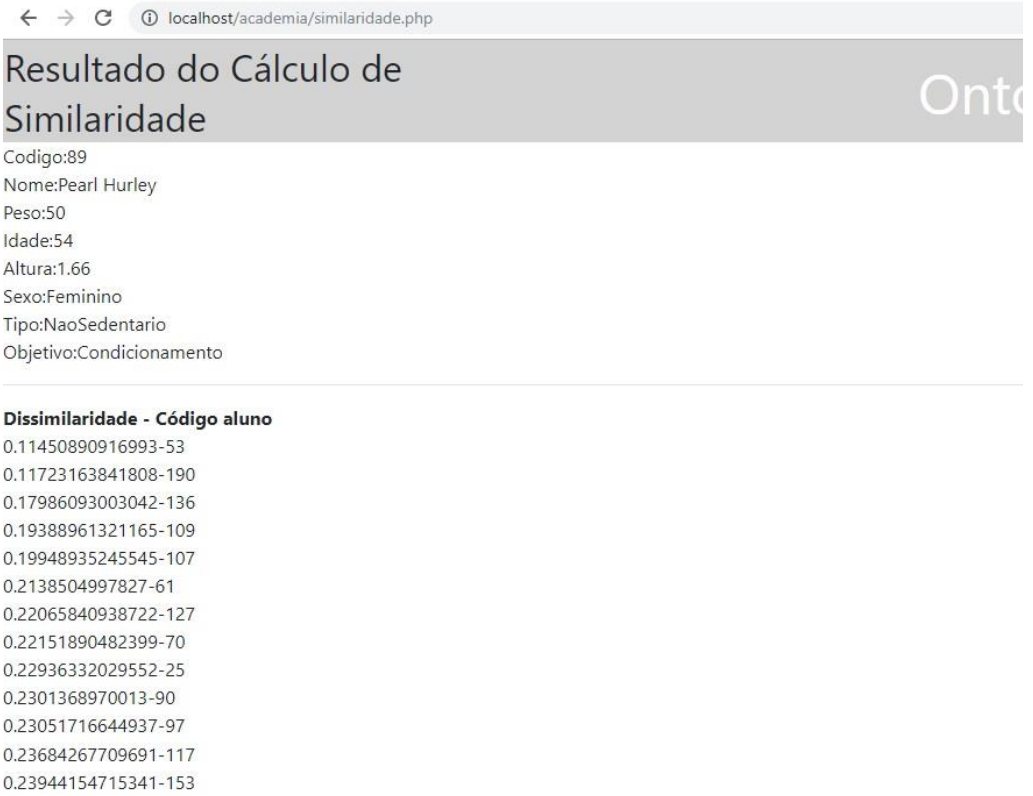
A Figura 25 ilustra exemplo de busca na base de dados. Considere que foi realizada a busca do aluno que tem o *código 89*. As próximas informações geradas pelo protótipo, ilustradas da Figura 26 a Figura 36, terão como referência os dados do aluno mencionado.

Figura 25 - Consulta dos dados do aluno código 89.



Na Figura 26 pode-se visualizar o resultado do algoritmo de cálculo de similaridade e a lista dos alunos mais similares ao aluno consultado. A lista está ordenada a partir do aluno mais similar e é composta pelo índice de similaridade e o código dos alunos que pertencem ao grupo. Para o presente trabalho, serão selecionadas inicialmente as *30* pessoas com os menores índices de dissimilaridade (*i.e.*, os *30* menores índices de dissimilaridades correspondem aos 30 atletas mais similares/semelhantes) ao aluno, para que seja feita a sugestão de treino.

Figura 26 - Resultado do algoritmo de agrupamento: grupo de alunos mais similares.



Uma vez definido o grupo de pessoas mais similares ao aluno, é possível visualizar o grafo dos alunos mais similares (Figura 27) e o grafo das atividades realizadas por esse grupo (Figura 31).

As informações pessoais e de treino dos 30 alunos do grupo e o índice de similaridade calculado pelo algoritmo de similaridade são representados no grafo apresentado na Figura 27. A Figura 28 mostra dois detalhes do grafo, sendo: **a)** detalhe do treino atualmente executado pelo aluno com o melhor índice de similaridade e **b)** detalhe da anamnese, que indica que são esses os dados utilizados na análise e agrupamento das pessoas.

Figura 27 - Grafo do grupo de alunos similares

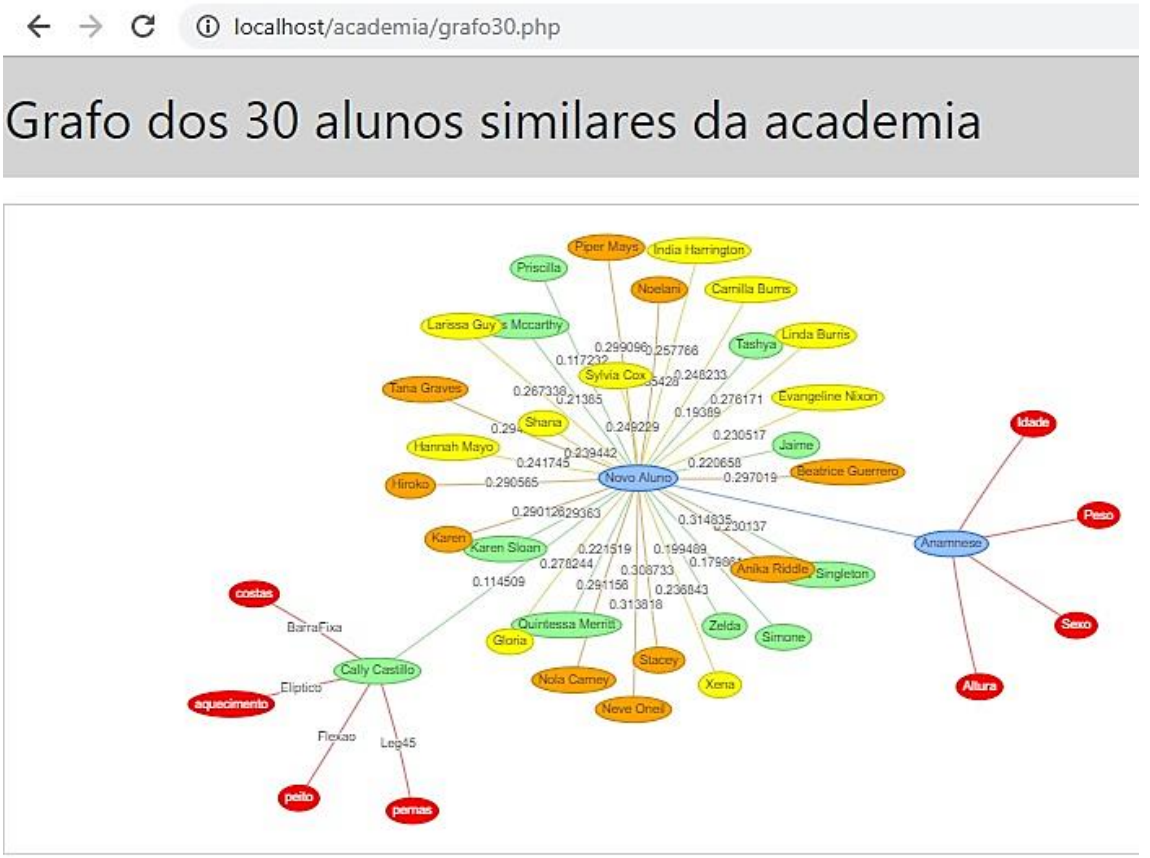
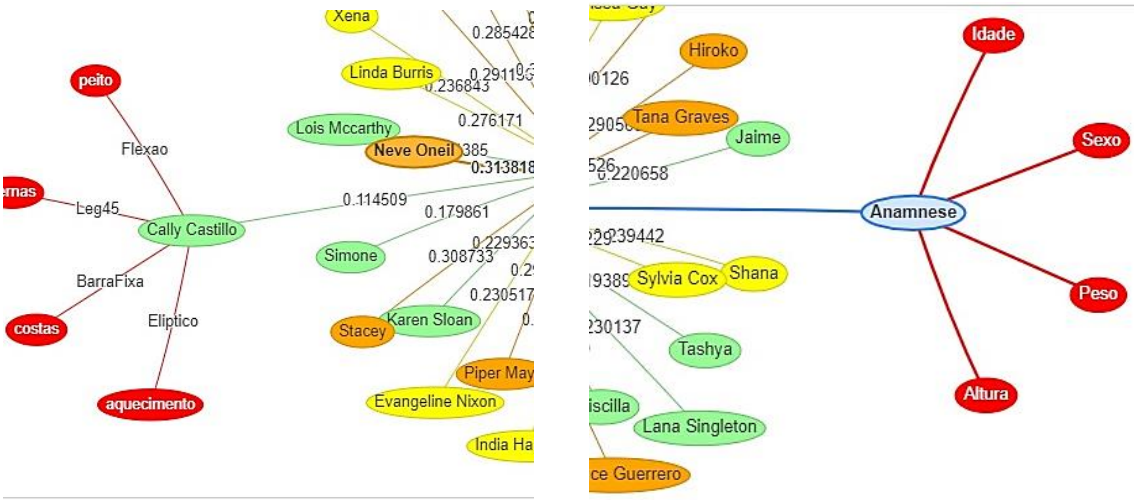


Figura 28 -a) Detalhe Treino do aluno mais semelhante; b) Detalhe da anamnese.



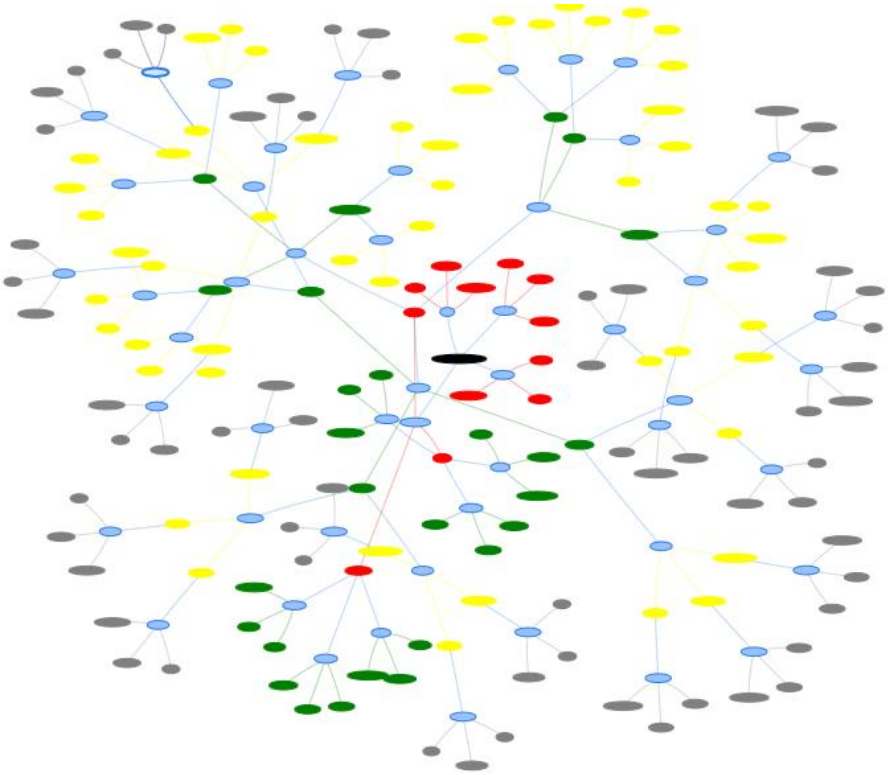
Na tela que dispõe o grafo dos 30 alunos mais similares (Figura 27), a partir do botão **Gerar RDF**, é possível ainda fazer download um arquivo RDF que representa o conhecimento visualizado no grafo. Um exemplo de um trecho desde arquivo é apresentado na Figura 29, que contém as informações pessoais e de treino dos alunos do grupo. O objetivo deste conteúdo está ligado à possibilidade de compartilhamento de informações que podem ser consumidas por outras aplicações *web*.

Figura 29 – Fragmento do arquivo RDF que representa o conhecimento visualizado no grafo do grupo de alunos.

```
1  <?xml version="1.0"?>
2  <rdf:RDF
3  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
4  xmlns:aluno="http://www.academia.fake/treino#">
5  <rdf:Description rdf:about="http://www.academia.fake/treino">
6  <aluno:nome>Hannah Mayo</aluno:nome>
7  <aluno:objetivo>Condicionamento</aluno:objetivo>
8  <aluno:peso>43</aluno:peso>
9  <aluno:altura>1.58</aluno:altura>
10 <aluno:idade>55</aluno:idade>
11 <aluno:aquecimento>Caminhada</aluno:aquecimento>
12 <aluno:pernas>Leg45</aluno:pernas>
13 <aluno:peito>Flexao</aluno:peito>
14 <aluno:costas>BarraFixa</aluno:costas>
15 </rdf:Description>
16
17 <rdf:Description rdf:about="http://www.academia.fake/treino">
18 <aluno:nome>Karen Sloan</aluno:nome>
19 <aluno:objetivo>Condicionamento</aluno:objetivo>
20 <aluno:peso>89</aluno:peso>
21 <aluno:altura>1.41</aluno:altura>
```

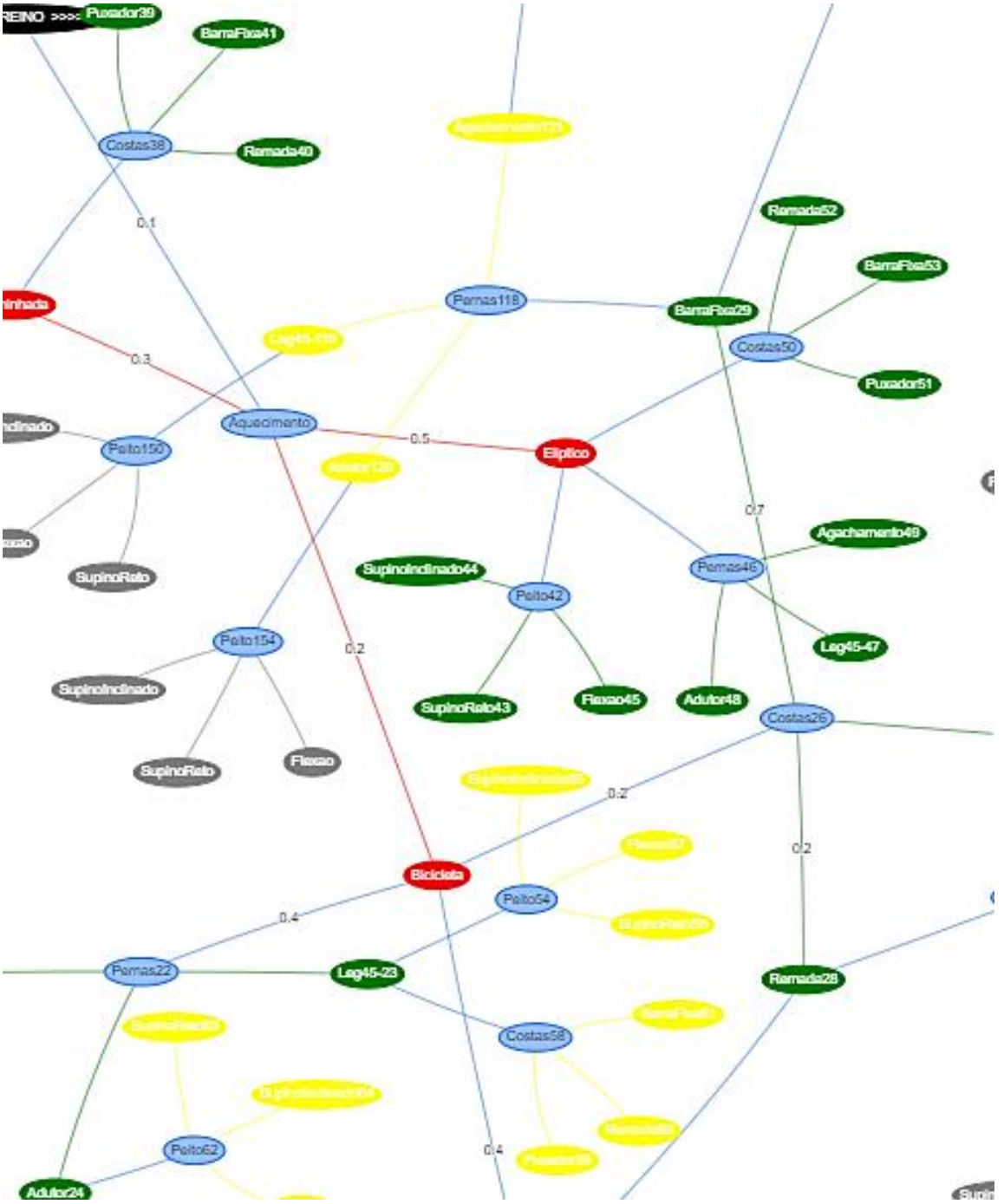
A Figura 30 mostra um exemplo do subgrafo ponderado *RDF Fuzzy*. O grafo apresentado nesta figura exibe as possibilidades de treinos, partindo do aquecimento, para que o algoritmo Dijkstra possa, a partir do menor caminho, fazer a indicação de treino.

Figura 30 - Exemplo do subgrafo *RDF Fuzzy*.



Já na Figura 31 é possível ver um detalhe do subgrafo ponderado *RDF Fuzzy* apresentado na Figura 30. No detalhe pode-se observar que as arestas do grafo possuem pesos, que representam o valor de crença de seletividade da atividade.

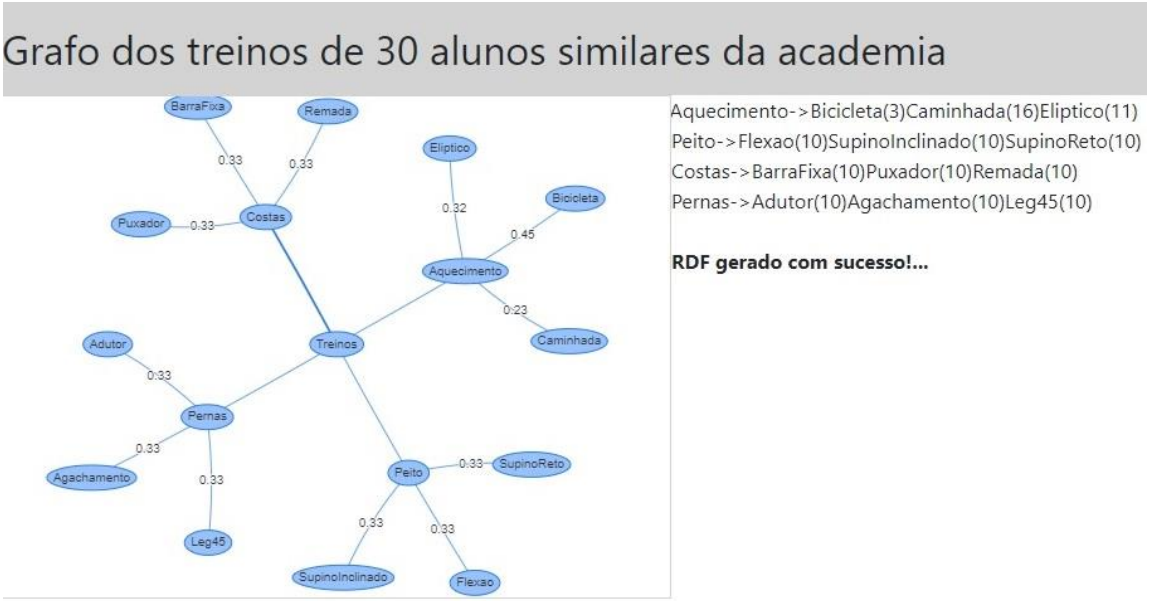
Figura 31 - Detalhe do subgrafo ponderado RDF Fuzzy.



A fim de reduzir a complexidade do protótipo, optou-se por uma implementação simplificada do cenário e o algoritmo Dijkstra precisou ser adaptado. Ao utilizar-se o algoritmo de Dijkstra adaptado no grafo *RDF fuzzy* do presente trabalho, ele deve analisar todas as arestas conectadas ao vértice inicial, e após o segundo nível percorrer o grafo identificando o menor caminho. Os pesos são previamente calculados pelo algoritmo de atualização de peso de arestas.

A Figura 32 ilustra o grafo *RDF Fuzzy* com as atividades executadas pelo grupo e está ligada ao quarto passo do modelo proposto nesta dissertação. Os conjuntos de atividades realizadas pelos usuários do grupo sevem de base para a análise e tomada de decisão do grau de seletividade. Aqui se deve analisar na *soft ontology* quais são os exercícios com os maiores graus de indicação (*i.e.*, os menores índices serão os selecionados, já que será usado um algoritmo de menor caminho) por meio do algoritmo de decisão, e estes serão sugeridos ao atleta.

Figura 32 - Grafo RDF Fuzzy com as atividades executadas pelo grupo.



Na tela que apresenta o grafo dos treinos (Figura 32), a partir do botão **Gerar RDF**, é possível fazer *download* de um arquivo RDF que representa o conhecimento visualizado no grafo. Um fragmento do conteúdo desde arquivo pode ser visualizado na Figura 33. Ele contém as informações (*RDF Fuzzy*) dos exercícios praticados pelo grupo para cada tipo de atividade.

Figura 33 – Fragmento do arquivo RDF Fuzzy dos exercícios praticados pelo grupo para cada tipo de atividade.

```
1  <?xml version="1.0"?>
2  <rdf:RDF
3  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
4  xmlns:aluno="http://www.academia.fake/treino#">
5  <rdf:Description rdf:about=\'aquecimento'>
6  <aluno:treino>Bicicleta</aluno:treino>
7  <aluno:tipo>aquecimento</aluno:tipo>
8  <aluno:grau>0.450005</aluno:grau>
9  <aluno:treino>Caminhada</aluno:treino>
10 <aluno:tipo>aquecimento</aluno:tipo>
11 <aluno:grau>0.23336</aluno:grau>
12 <aluno:treino>Eliptico</aluno:treino>
13 <aluno:tipo>aquecimento</aluno:tipo>
14 <aluno:grau>0.316685</aluno:grau>
15 </rdf:Description>
16
17 <rdf:Description rdf:about=\'peito'>
18 <aluno:treino>Flexao</aluno:treino>
19 <aluno:tipo>peito</aluno:tipo>
20 <aluno:grau>0.33335</aluno:grau>
21 <aluno:treino>SupinoInclinado</aluno:treino>
```

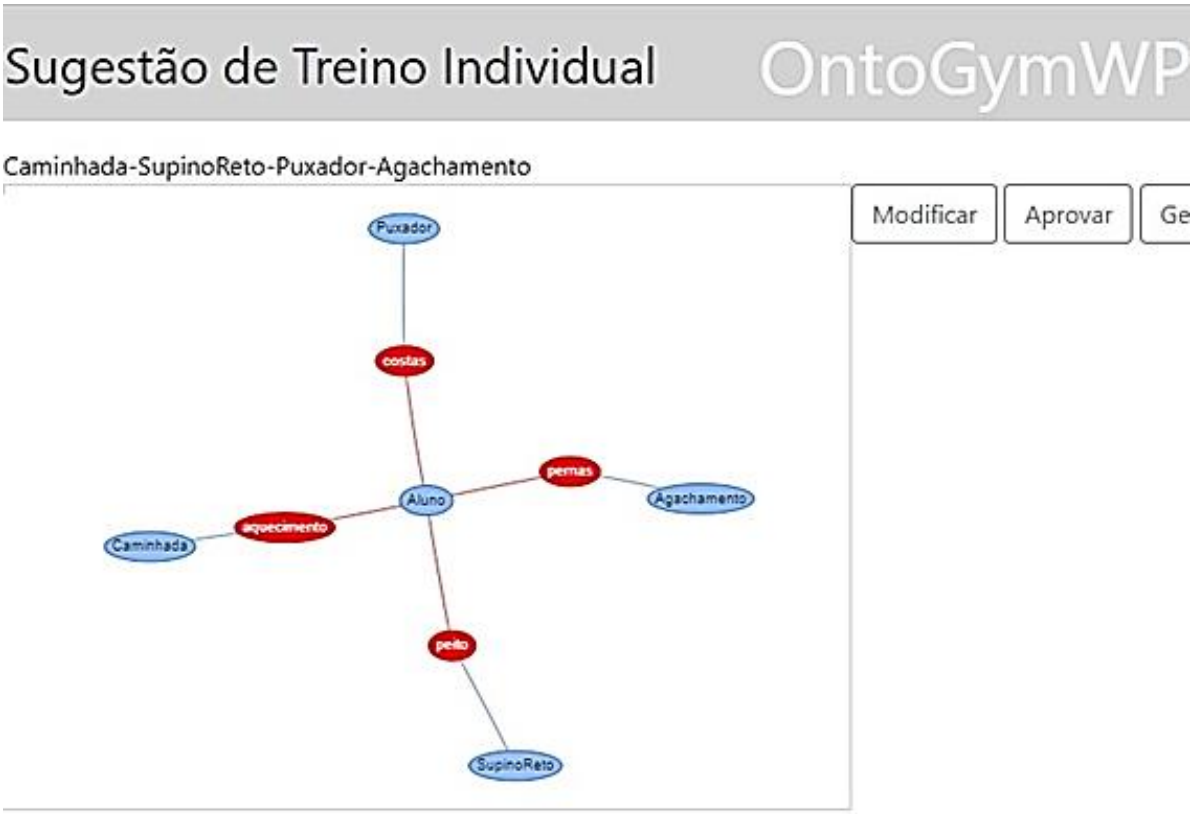
A representação deste conjunto de dados vinculados e dinamicamente evolutivo é feita utilizando o conceito *RDF Fuzzy*, baseado na proposta de Lv, Ma e Yan (2008). Em particular, eles são usados para representar o conhecimento compartilhado do domínio, relacionado às atividades físicas praticadas, para cada grupo de usuários e planos de treinamento de cada indivíduo. Nesta proposta são adicionados valores de crença, entre 0 e 1, aos triplos padrão RDF (*sujeito, predicado, objeto*), onde a crença diz respeito ao grau de seletividade de cada atividade física, por exemplo:

- *(Bicicleta, tipo, Aquecimento) [0.45]:* representando o grau em que Bicicleta pode ser selecionada como sugestão de atividade de Aquecimento.
- *(Flexao, tipo, Peito) [0.33]:* representando o grau em que Flexão pode ser selecionada como sugestão de atividade para Peito.

A partir das informações do grafo *RDF Fuzzy*, com as atividades executadas pelo grupo, o algoritmo de decisão de melhor caminho será executado e fará a indicação do treino individual para um aluno. Como já mencionado anteriormente, na implementação do protótipo, o algoritmo de decisão de melhor caminho é uma adaptação do algoritmo Dijkstra, que deve percorrer todas as arestas que partem do vértice inicial (estado inicial) e a partir do segundo nível deve percorrer apenas os que possuem o menor valor (grau de

crença). A **Figura 34** apresenta o grafo do treino individual sugerido ao aluno após a execução do algoritmo.

Figura 34- Grafo do treino individual sugerido ao aluno.



Pode-se observar que o treino sugerido ao aluno é de caminhada para aquecimento, supino reto para peito, puxador para costas e agachamento para o treino de pernas. O aluno tem a possibilidade de aceitar ou modificar a sugestão de treino que recebeu da *soft ontology*. Caso o aluno opte por alterar o treino sugerido, inicialmente ocorrerá a modificação em seu grafo RDF individual e posteriormente esse *feedback* será utilizado para reavaliar o conhecimento da *soft ontology* do grupo ao qual este usuário pertence, ou seja, atualizará os valores da *ontospace*. A **Figura 35** apresenta a interface que permite a alteração do treino sugerido pela *soft ontology*.

Figura 35 - Interface para alteração do treino sugerido pela *soft ontology*.

Outro fator ligado à alteração da *ontospace* é a possibilidade de inclusão de ontodimensões à *soft ontology*. As **Figuras 36** e **37** apresentam um exemplo do grafo dos treinos dos alunos mais semelhantes de um determinado grupo da academia.

Ao comparar as áreas em destaque das **Figuras 36** e **37** é possível visualizar que o número de ontodimensões para aquecimento mudou. Neste caso, ao incluir um novo conceito ao grafo *RDF Fuzzy*, por exemplo, um novo tipo de atividade física, o algoritmo de inclusão de ontodimensões tem a responsabilidade de modificar o grafo atual e atribuir o peso ao nó. Para fins de visualização os nós disjuntivos (como propostos como por Lv, Ma e Yan (2008) e nomes das arestas foram retirados destas figuras.

Figura 36 - Destaque 1: Três ontodimensões para aquecimento.

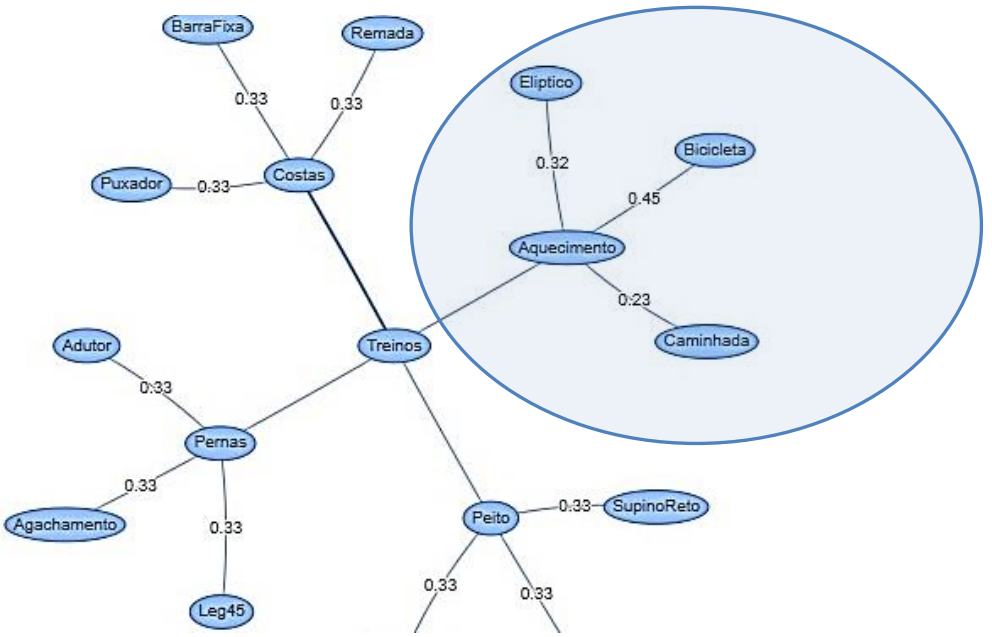
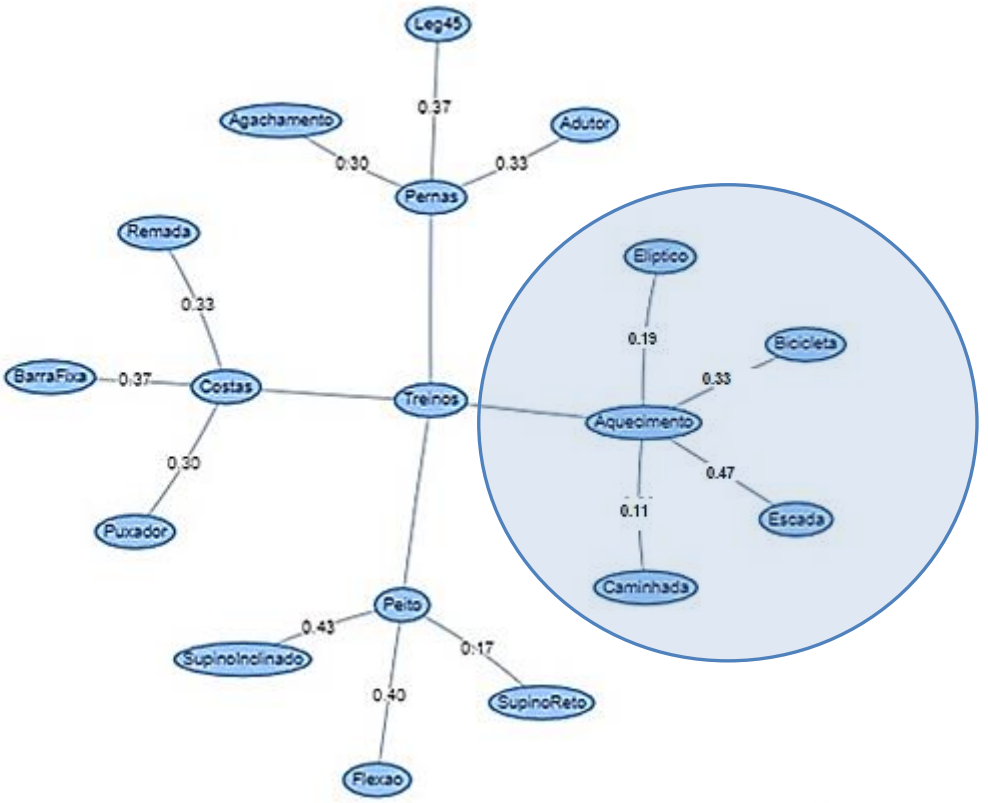


Figura 37 - Destaque 2: Quatro ontodimensões para aquecimento.



O protótipo OntoGymWP foi desenvolvido para testar o funcionamento da *soft ontology* para o cenário simplificado apresentado. No capítulo 6 será apresentado o conteúdo de avaliação do modelo baseado em testes funcionais e empíricos.

6. Avaliação da Arquitetura Conceitual e Protótipo Proposto

Com o objetivo de avaliar a arquitetura conceitual e protótipo, este capítulo apresenta as técnicas utilizadas na avaliação, resultados obtidos e discussão sobre estes resultados. Para tanto, definiu-se dois tipos de avaliações:

i) **Avaliação funcional (teste funcional):** Foram especificadas características e resultados esperados do protótipo que permitissem a análise e validação de seu comportamento.

ii) **Avaliação empírica:** Realizada e analisada por um grupo de seis *Personais Trainers*, em um ambiente de academia de ginástica.

As próximas seções descrevem os testes e resultados obtidos para a validação do modelo. Por fim, é apresentada uma discussão com base nos resultados obtidos.

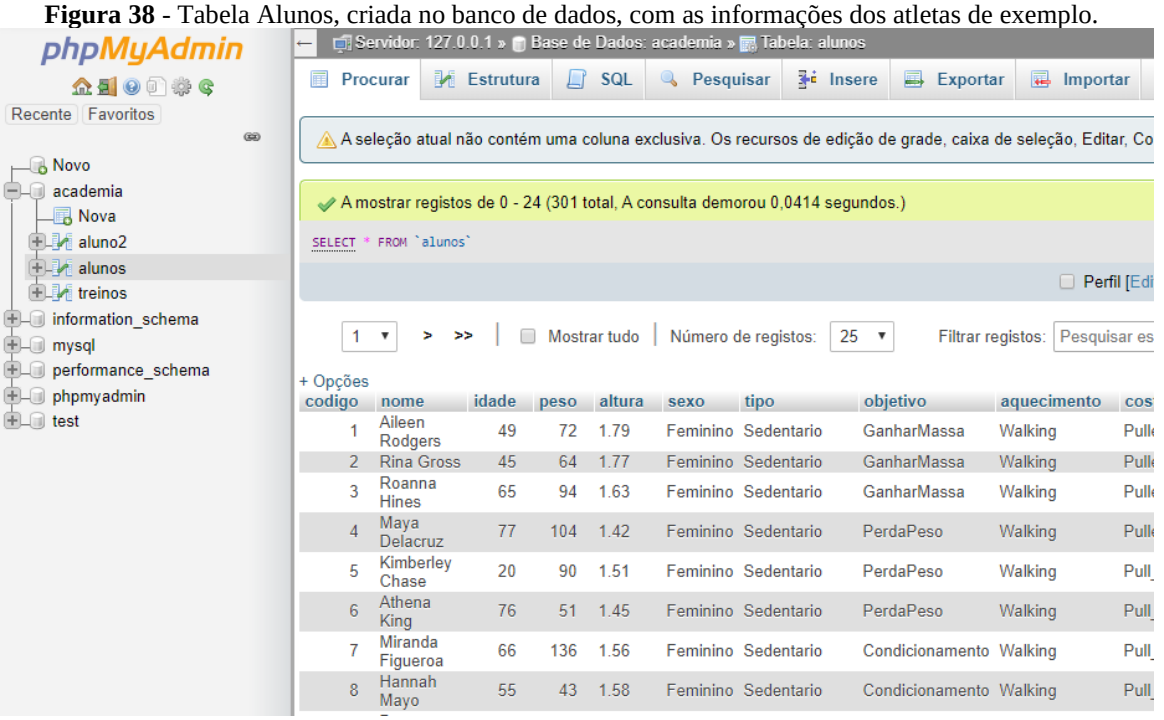
6.1 Avaliação Funcional

A avaliação funcional foi feita a partir de testes e análise do comportamento do protótipo, e é baseada nas suas características funcionais. O objetivo é analisar as saídas geradas após a entrada de dados pré-definidos, sem se preocupar com o comportamento interno da aplicação durante a execução dos testes.

Para a realização da avaliação, foram identificadas seis ações desejadas que determinaram se o protótipo tem o comportamento de acordo com o esperado pela arquitetura conceitual e implementação do sistema. Para tanto, foi utilizado banco de dados gerado com dados de 300 atletas.

Para este trabalho, optou-se pelo uso do MySQL, é um sistema gerenciador de banco de dados relacional de código aberto e gratuito, e os dados que preencheram esse banco de dados de exemplo foram gerados artificialmente com o uso do *Generatedata (GNU)*. Os principais dados armazenados no banco são características físicas, de identificação pessoal, os objetivos e atividades de treinamento dos atletas representados nele. A Figura 38 apresenta a tabela Alunos, criada no banco de dados, que contém as informações dos atletas exemplo cadastrados para teste.

Figura 38 - Tabela Alunos, criada no banco de dados, com as informações dos atletas de exemplo.



A seguir são apresentados os itens e o comportamento da aplicação para as seis ações desejadas do protótipo.

6.1.1 Capacidade de análise do perfil

Mostra a capacidade de analisar o conjunto de informações de perfil dos usuários para a definição do grupo de usuários similares. A fim de exemplificar essa capacidade, a Figura 39 e a Tabela 16 apresentam, respectivamente, o resultado da busca dos alunos mais similares à aluna Montana Vicent (código 60) e as informações de anamnese dos *10* alunos mais similares à aluna pesquisada na base de dados. Na Tabela 16 é possível observar que os alunos possuem carcteríticas físicas semelhantes, como idade, peso e altura, todos são do mesmo sexo e tem os mesmos objetivos, e nenhum dos alunos é do Tipo Atleta.

Figura 39 – Usuários mais similares à aluna Montana Vicent.

Resultado do Cálculo de Similaridade

OntoGymWP

Voltar

Codigo:60
Nome:Montana Vincent
Peso:56
Idade:44
Altura:1.61
Sexo:Feminino
Tipo:NaoSedentario
Objetivo:PerdaPeso

Dissimilaridade - Código aluno

0.16055193394176-132
0.18492829204694-124
0.18857018687527-160
0.19078226857888-185
0.20699261190787-96
0.20825293350717-24
0.21056062581486-5
0.21102998696219-133
0.21323120382442-195
0.22489787049109-40
0.22577357670578-140
0.24167753150804-151
0.25233811386354-142
0.26106040851804-123
0.26227944372012-104
0.2664580617123-59
0.2706345067362-31
0.27220121686223-6
0.27994567579313-68
0.28117557583659-53
0.28376575401999-33
0.28389830508475-190
0.28621903520209-51
0.28836592785745-167
0.29313342025206-22
0.29822033898305-122
0.30629074315515-32
0.30773142112125-23
0.31092568448501-105
0.31277488048674-67

Tabela 16 - Informações de anamnese dos 10 alunos mais similares à aluna Montana Vicent.

Dissimila-ridade	Código	Nome	Idade	Peso	Altura	Sexo	Tipo	Objetivo
O próprio	**60**	**Montana Vincent**	**44**	**56**	**1.61**	**Feminino**	**NaoSedentario**	**PerdaPeso**
0.16	132	Stella	30	48	1.49	Feminino	Sedentario	PerdaPeso
0.18	124	Amena	26	62	1.53	Feminino	NaoSedentario	PerdaPeso
0.18	160	Dacey	32	50	1.65	Feminino	NaoSedentario	PerdaPeso
0.19	185	Adena	25	84	1.43	Feminino	NaoSedentario	PerdaPeso
0.20	96	Germane Fry	30	64	1.56	Feminino	Sedentario	PerdaPeso
0.20	24	Veronica Prince	36	64	1.51	Feminino	NaoSedentario	PerdaPeso
0.21	5	Kimberley Chase	30	78	1.51	Feminino	Sedentario	PerdaPeso
0.21	133	Kalia	26	66	1.41	Feminino	Sedentario	PerdaPeso
0.21	195	Emily	35	77	1.46	Feminino	Sedentario	PerdaPeso
0.22	40	Shellie Ratliff	35	65	1.46	Feminino	Sedentario	PerdaPeso

Considerando que para a identificação do grupo são selecionados os 30 alunos mais similares, a Tabela 17 apresenta as informações de anamnese dos demais 20 alunos que compõem o grupo da aluna Montana Vicent. Analisando as características da aluna pesquisada e os dados dos alunos apresentados nessa tabela, é possível observar que as características físicas e objetivos se distanciam um pouco mais e isso justifica um valor maior no cálculo da distância/dissimilaridade. Porém, ainda assim, é aceitável incluir esses alunos no grupo de alunos que influenciarão o treino da aluna em análise, pois os dados não possuem grandes diferenças nos valores ou objetivos de treino.

Tabela 17 - Informações de anamnese dos demais alunos similares à aluna Montana Vicent.

Dissimila-ridade	Código	Nome	Idade	Peso	Altura	Sexo	Tipo	Objetivo
O próprio	**60**	**Montana Vincent**	**44**	**56**	**1.61**	**Feminino**	**NaoSedentario**	**PerdaPeso**
0.22	140	Adrienne	61	53	1.41	Feminino	Sedentario	PerdaPeso
0.24	151	Winter	22	70	1.72	Feminino	NaoSedentario	PerdaPeso
0.25	142	Brenda	16	78	1.47	Feminino	Atleta	PerdaPeso
0.26	123	Hadassah	43	90	1.48	Feminino	NaoSedentario	PerdaPeso
0.26	104	Amelia	51	53	1.63	Feminino	Sedentario	PerdaPeso
0.26	59	Hillary Steele	34	102	1.51	Feminino	NaoSedentario	PerdaPeso
0.27	31	Eve Mullen	52	48	1.68	Feminino	Sedentario	PerdaPeso

0.27	6	Athena King	76	51	1.45	Feminino	Sedentario	PerdaPeso
0.27	68	Lacy Carter	32	103	1.57	Feminino	Sedentario	PerdaPeso
0.28	53	Cally Castillo	21	41	1.45	Feminino	NaoSedentario	Condiciona mento
0.28	33	Hedwig Taylor	57	77	1.51	Feminino	Sedentario	PerdaPeso
0.28	190	Priscilla	15	40	1.52	Feminino	NaoSedentario	Condiciona mento
0.28	51	Molly Grimes	75	44	1.55	Feminino	NaoSedentario	PerdaPeso
0.28	167	Madeline	23	88	1.77	Feminino	Sedentario	PerdaPeso
0.29	22	Wyoming Parks	37	110	1.53	Feminino	NaoSedentario	PerdaPeso
0.29	122	Lunea	54	53	1.73	Feminino	NaoSedentario	PerdaPeso
0.30	32	Samantha Roach	64	95	1.42	Feminino	Sedentario	PerdaPeso
0.30	23	Bianca Garrison	51	104	1.49	Feminino	NaoSedentario	PerdaPeso
0.31	105	Xaviera	55	54	1.76	Feminino	Sedentario	PerdaPeso
0.31	67	Candace Padilla	27	127	1.59	Feminino	Sedentario	PerdaPeso

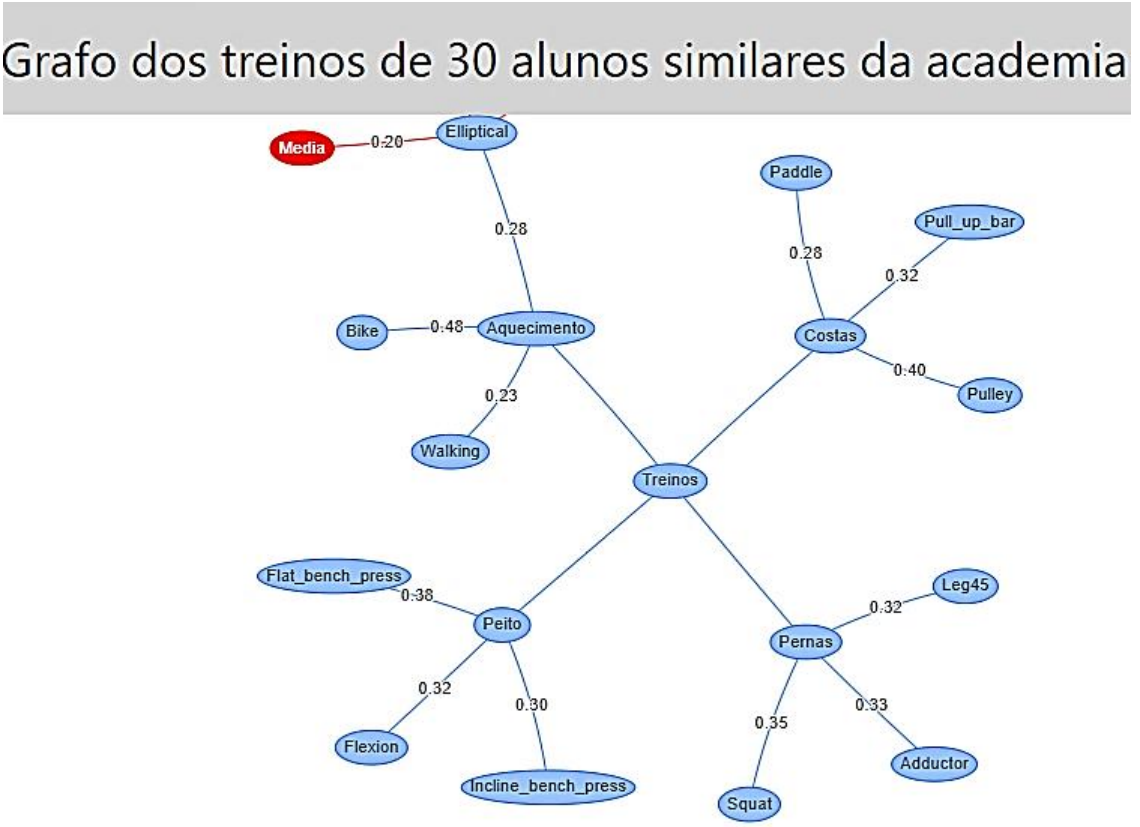
6.1.2 Representação das ações no Grafo *RDF Fuzzy*

Diz respeito à capacidade de analisar as ações executadas pelos membros do grupo, neste caso os exercícios físicos que os alunos que compõem o grupo realizam, e representá-las em um grafo *RDF Fuzzy*.

Além de respresentar as informações em um grafo, o algoritmo deve calcular a relevância de cada atividade e atribuir um valor de crença nas arestas.

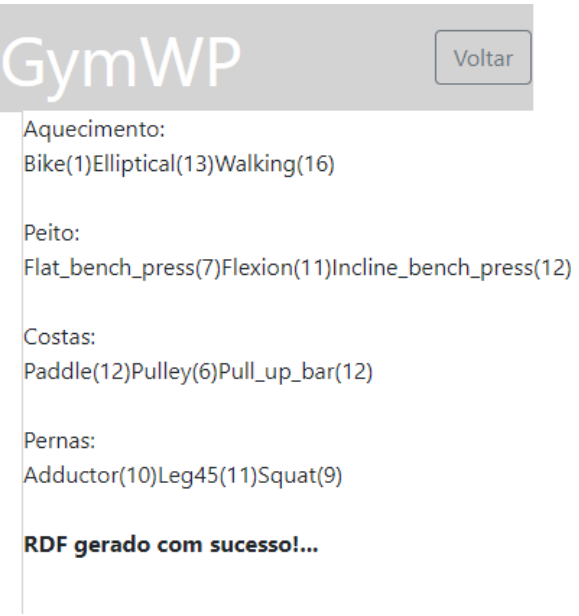
A Figura 40 apresenta o grafo *RDF Fuzzy* que ilustra as atividades físicas realizadas pelos alunos que compõem o grupo similar à aluna Montana Vicent. É possível observar que todas as arestas do grafo possuem um valor de seletividade. Como o algoritmo Dijkstra será utilizado na análise e seleção do menor caminho, a tendência de escolha das atividades é inversamente proporcional, ou seja, quanto mais alunos realizam uma atividade física, menor é o valor que deve ser atribuído à sua aresta.

Figura 40 - Grafo RDF Fuzzy das atividades dos alunos similares à aluna Montana Vicent.



Na Figura 41 pode-se observar qual a quantidade de alunos do grupo que executa cada atividade. Esses são os valores de referência para a contrução do grafo *RDF Fuzzy*, apresentado anteriormente na Figura 40.

Figura 41 - Atividades físicas dos alunos similares à aluna Montana Vicent.



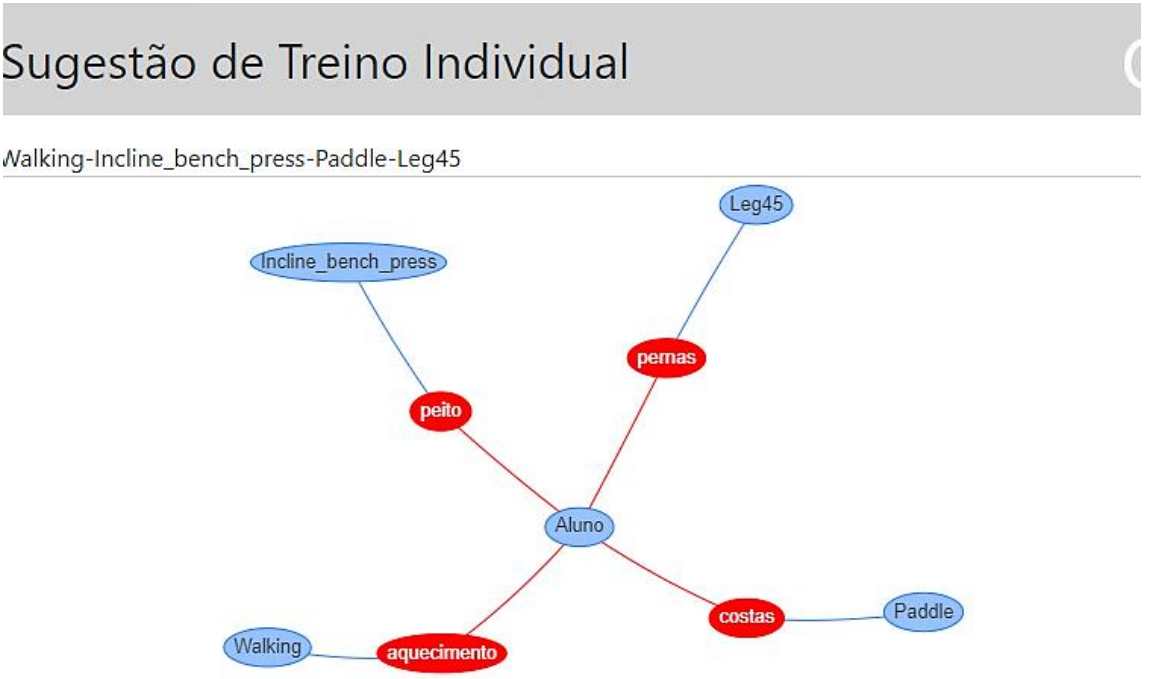
6.1.3 Análise do grafo *RDF Fuzzy*

Este item avalia a possibilidade do algoritmo de analisar o grafo *RDF Fuzzy* e, baseado nas escolhas da maioria dos membros do grupo, sugerir ações personalizadas aos usuários. Como o grafo é ponderado, a sugestão foi utilizar o uma adaptação do algoritmo Dijkstra para analisar o peso das arestas e sugerir o treino.

Analisando novamente a Figura 40, é possível observar que as arestas que possuem os menores valores em cada grupo de atividade são: *walking/caminhada* para Aquecimento (valor = *0.23*), *paddle/remada* para Costas (valor = *0.28*), *leg45* para Pernas (valor = *0.32*) e *incline_bench_press/supino* inclinado para Peito (valor = *0.30*).

Diante do exposto, espera-se que a sugestão de treino feita pela *soft ontology* à aluna Montana Vicent seja composta por esses exercícios. A Figura 42 apresenta a sugestão do protótipo e ela condiz com o esperado, validando o item analisado.

Figura 42 - Sugestão de treino para a Aluna Montana Vicent.



6.1.4 Alterações no grafo *RDF Fuzzy*

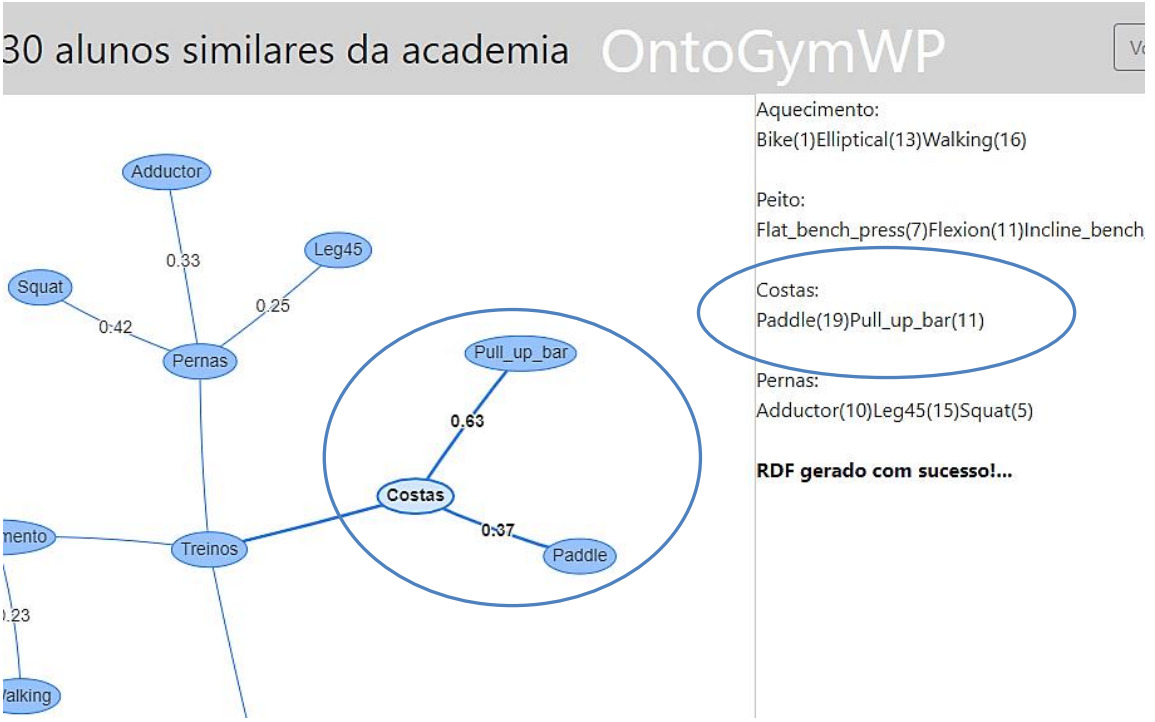
Mostra a capacidade do algoritmo de atualização de ontospace de fazer modificações no grafo *RDF Fuzzy*. Precisam ser consideradas dois tipos de alterações a

modificação da quantidade de nós do grafo RDF Fuzzy e a necessidade de se recalcular o peso das arestas do grafo.

i) Modificação da quantidade de nós do grafo RDF Fuzzy: será baseado nas escolhas feitas pelos usuários que compõem um grupo e para os testes desse item serão feitas alterações no no grupo Costas, reduzindo e aumentando o número de nós desse tipo de treino.

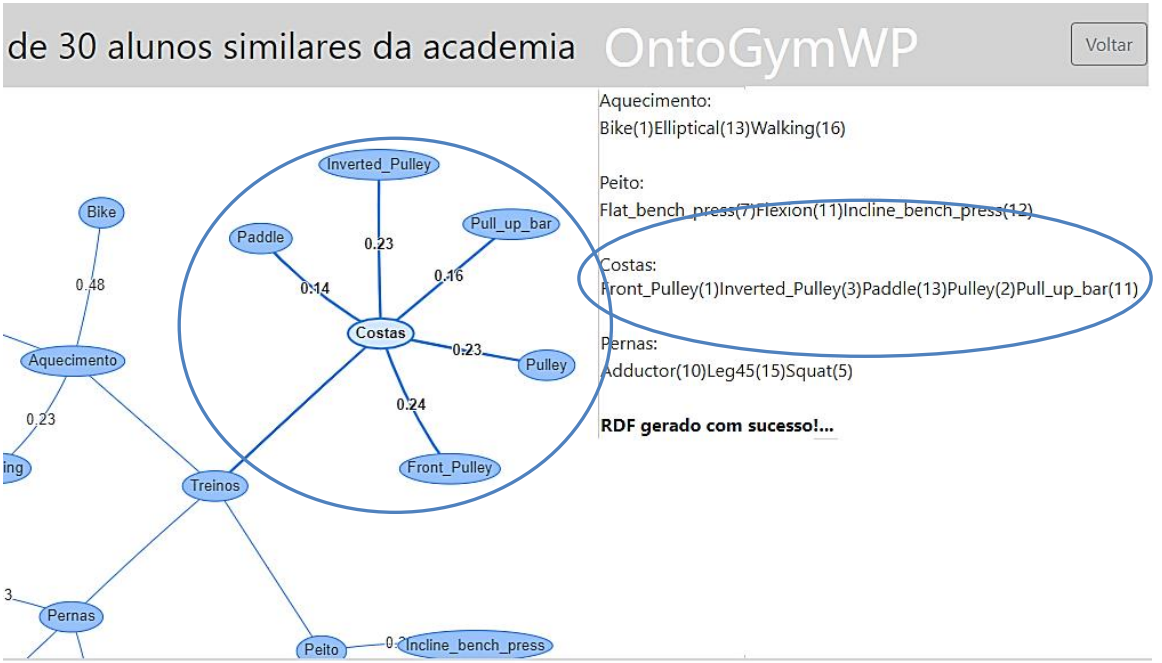
- **Capacidade de diminuir o número de nós do grafo:** Primeiramente os dados dos alunos que compõem o grupo similar, que influenciam a aluna pesquisada, foram alterados para que fosse possível testar a capacidade do algoritmo de reduzir o número de nós do grafo. Para tanto definiu-se que os seis alunos do grupo que realizavam o exercício *pulley/puxador* fariam *paddle/remada* e como consequencia o tipo de exercício costas ficaria com apenas duas arestas: *paddle/remada* e *pull_up_bar/barra*. É possível observar a situação apresentada na Figura 43 e comparando-a com a Figura 40.

Figura 43 - Detalhe do grafo RDF Fuzzy, com duas atividades diferentes para o treino de Costas.



- **Capacidade de aumentar o número de nós do grafo:**
  Novamente os dados dos alunos que compõem o grupo similar, foram alterados para testar a capacidade do algoritmo de aumentar o número de nós do grafo. Para tanto, definiu-se que dos seis alunos do grupo que realizavam o exercício *pulley/puxador* fariam: *2* deles *pulley/puxador*, *3* *inverted_pulley/puxador* invertido e *1* *front_pulley/puxador* frontal. Como consquência, o tipo de exercício costas ficou com cinco arestas. É possível observar a situação apresentada na Figura 44 e comparando-a com a Figura 40.

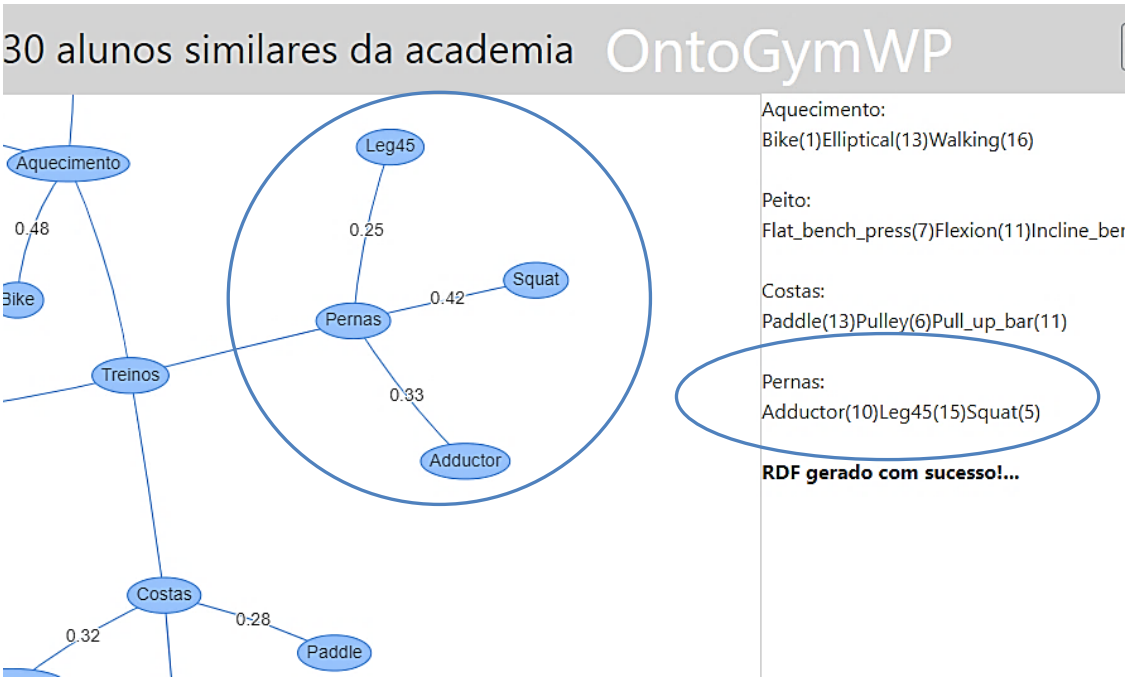
Figura 44 - Detalhe do grafo RDF Fuzzy, com cinco atividades diferentes para o treino de Costas.



ii) Capacidade de recalcular o peso das arestas, do grafo RDF Fuzzy: conforme as atividades do grupo são modificadas: para testar esta funcionalidade foi feita a alteração no número de alunos que faziam o exercício *Leg45* no grupo Pernas, aumentando de *11* para *15* pessoas. Comparando esse item da Figura 40 e da Figura 45, observa-se que o peso

das arestas foi recalculado (no caso, o exercício *Leg45* de *0.32* para *0.25* e o exercício *Squat/Agachamento* de *0.35* para *0.42*), validando o item.

Figura 45 - Detalhe do grafo *RDF Fuzzy*, com alteração nas atividades de Pernas.



6.1.5 Possibilidade de lidar com informações RDF

O último item analisado na avaliação funcional está relacionado à capacidade de se trabalhar com informações no formato RDF, que são compartilháveis entre máquinas. Além de ler os dados dos usuários para construir os grafos *RDF Fuzzy* já apresentados, o protótipo é capaz de gerar arquivos RDF para que estes possam ser compartilhados. Como exemplo, a Figura 46 apresenta um fragmento do arquivo RDF, com as informações e o grau de crença das atividades físicas, realizadas pelo grupo de alunos da aluna Montana Vicent.

Figura 46 - Fragmento do arquivo RDF das atividades realizadas pelo grupo de alunos.

```xml
<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF
xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
xmlns:aluno="http://www.academia.fake/treino#">
<rdf:Description rdf:about=\'aquecimento'>
<aluno:treino>Bike</aluno:treino>
<aluno:tipo>aquecimento</aluno:tipo>
<aluno:grau>0.483335</aluno:grau>
<aluno:treino>Elliptical</aluno:treino>
<aluno:tipo>aquecimento</aluno:tipo>
<aluno:grau>0.283355</aluno:grau>
<aluno:treino>Walking</aluno:treino>
<aluno:tipo>aquecimento</aluno:tipo>
<aluno:grau>0.23336</aluno:grau>
</rdf:Description>

<rdf:Description rdf:about=\'peito'>
<aluno:treino>Flat_bench_press</aluno:treino>
<aluno:tipo>peito</aluno:tipo>
<aluno:grau>0.383345</aluno:grau>
<aluno:treino>Flexion</aluno:treino>
<aluno:tipo>peito</aluno:tipo>
<aluno:grau>0.316685</aluno:grau>
<aluno:treino>Incline_bench_press</aluno:treino>
<aluno:tipo>peito</aluno:tipo>
<aluno:grau>0.30002</aluno:grau>
</rdf:Description>

<rdf:Description rdf:about=\'costas'>
<aluno:treino>Front_Pulley</aluno:treino>
<aluno:tipo>costas</aluno:tipo>
<aluno:grau>0.483335</aluno:grau>
<aluno:treino>Inverted_Pulley</aluno:treino>
<aluno:tipo>costas</aluno:tipo>
<aluno:grau>0.450005</aluno:grau>
<aluno:treino>Paddle</aluno:treino>
<aluno:tipo>costas</aluno:tipo>
<aluno:grau>0.283355</aluno:grau>
```

6.2 Avaliação Empírica

O ambiente de teste escolhido é uma academia de ginástica com aproximadamente 4000 alunos cadastrados e 1500 alunos frequentantes. A equipe de instrutores é composta por seis profissionais de educação física e que revesam o atendimento aos alunos entre os períodos de manhã/tarde e tarde/noite. A seguir, na Tabela 18, são apresentadas algumas informações dos profissionais que atuam como instrutores na academia:

Tabela 18 - Profissionais de educação física que atuam como instrutures na academia.

Nome	Graduação	Ano	Especialidade	Experiência
Professor 1	Bacharel e Licenciatura em Educação Física (UNIMEP)	2001	Fisiologia do Exercício, Musculação e Corrida	19 Anos
Professor 2	Bacharel e Licenciatura em Educação Física (PUC Campinas)	2013	Musculação e Reabilitação	9 Anos
Professor 3	Bacharel e Licenciatura em Educação Física (UNIPINHAL)	2005	Musculação funcional e Jiu Jitsu	15 Anos
Professor 4	Bacharel e Licenciatura em Educação Física (UNIMEP)	2003	Fisiologia do Exercício e Musculação	17 Anos
Professor 5	Bacharel em Educação Física (FAJ)	2015	Musculação funcional	4 Anos
Professor 6	Bacharel em Educação Física (PUC Campinas)	2004	Musculação e Condicionamento Físico	14 Anos

Os treinos são montados, periodicamente e manualmente, em fichas de treino e passados aos alunos. De acordo com a necessidade ou desejo de mudança, o treino é alterado pelo instrutor, sendo utilizado exclusivamente seu conhecimento técnico para as alterações.

A academia possui um *software*, porém este é utilizado para gerenciar informações pessoais dos alunos, como por exemplo, características físicas, dados pessoais, de exercícios e se tem atestado médico para realização das atividades físicas. Como o acesso à academia é controlado por catracas eletrônicas, informações sobre tempo e frequência semanal de treino também são armazenadas.

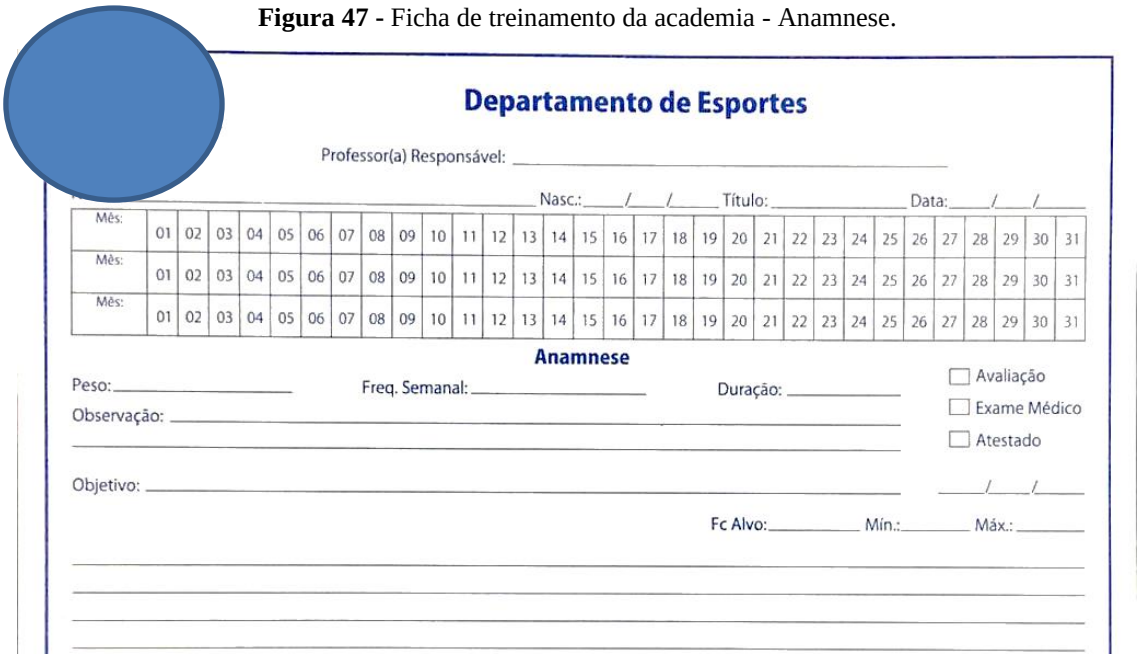
6.2.1 Participantes e Procedimentos

A avaliação empírica foi utilizada para coletar resultados e sugestões, pelos profissionais de educação física, sobre o funcionamento e recomendação de treino do OntoGymWP. Para tanto, os dados necessários, do banco de dados da academia foram importados no protótipo. O OntoGymWP foi testado entre o período de 12 de novembro à 31 de dezembro de 2019.

Neste período, o OntoGymWP foi avaliado pelos professores como ferramenta auxiliar na montagem parcial de novos treinos, por meio da sugestão de um dos exercícios de cada grupo de treino (*i. e.*, aquecimento, peito, costas e pernas) sendo sugerida pelo protótipo. Não houve aplicação efetiva dos treinos sugeridos aos frequentadores da academia ou influência em suas atividades, estando esta avaliação restrita a análise dos dados e apreciação dos resultados. Dados físicos/biométricos não foram coletados.

As Figuras 47 e 48 mostram a ficha de treino usada na academia. Na Figura 47 são adicionadas as informações de anamnese do aluno e na Figura 48 o programa de treinamento. Para esta avaliação empírica, os exercícios presentes na ficha de treinamento, dos grupos aquecimento, peito, costas e pernas, foram cadastrados no protótipo, permitindo que o OntoGymWP fizesse a sugestão de um exercício para cada grupo de treino.

Figura 47 - Ficha de treinamento da academia - Anamnese.



Departamento de Esportes

Professor(a) Responsável: _____

_____ Nasc.:____/____/____ Título: _____ Data:____/____/____

Mês:	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Mês:	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Mês:	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

Anamnese

Peso: _____ Freq. Semanal: _____ Duração: _____

Observação: _____

☐ Avaliação
☐ Exame Médico
☐ Atestado

Objetivo: _____ ____/____/____

Fc Alvo: _____ Mín.: _____ Máx.: _____

Figura 48 - Ficha de treinamento da academia - Programa de treinamento.

Programa de Treinamento

Peitoral	Ordem	Ser x Rep	Carga
Supino Reto			
Supino Inclinado			
Crucifixo			
Pec Dec			
Pull Over			
Cross Over			

Bíceps	Ordem	Ser x Rep	Carga
Rosca W			
Rosca H			
Rosca Alternada			
Rosca Scot			
Rosca Polia			
Rosca Concentrada			
Antebraço			

Perna	Ordem	Ser x Rep	Carga
Cadeira Extensora			
Mesa Flexora			
Cadeira Flexora			
Leg Horizontal			
Leg 45º			
Adutor			
Abdutor			
Hack			
Agachamento			
Glúteo na Máquina			
Glúteo com Caneleira			
Panturrilha			

Costas	Ordem	Ser x Rep	Carga
Puxador Costas			
Puxador Frente			
Puxador Invertido			
Remada Baixa			
Remada Aberta			
Pec Dec Invertido			

Tríceps	Ordem	Ser x Rep	Carga
Triceps Testa			
Triceps Pulley			
Triceps Francês			
Triceps Banco			
Triceps Paralela			
Triceps Invertido			

Extras	Ordem	Ser x Rep	Carga

Ombro	Ordem	Ser x Rep	Carga
Elevação Lateral			
Elevação Frontal			
Desenvolvimento			
Arnold			
Encolhimento			

Abdômen	Ordem	Ser x Rep	Carga
Superior			
Inferior			
Obliquos			

Durante o período de testes, o treino de 63 pessoas, 38 homens e 25 mulheres, sugeridos pelo OntoGymWP foram analisados pelo profissional. Os dados coletados foram anonimizados e utilizados especificamente para a pesquisa em questão e não contém informações que indiretamente possam identificar os participantes. A interação com os alunos se restringe a avaliar sugestões hipotéticas e realizadas após os treinos habituais. A Tabela 19 apresenta os dados coletados sobre os mesmos.

Tabela 19 - Tabela de participantes.

Aluno	Sexo	Idade	Sugestão Alterada	Exercício Proposto	Substituição
Aluno 1	M	28	Não		
Aluno 2	M	31	Não		
Aluno 3	F	45	Sim	Crucifixo	Pec Dec
Aluno 4	M	33	Não		
Aluno 5	F	29	Não		
Aluno 6	F	53	Sim	Agachamento	Leg horizontal
Aluno 7	F	35	Sim	Remada baixa	Remada aberta
Aluno 8	M	42	Não		
Aluno 9	M	37	Sim	Pull Over	Cross Over
Aluno 10	M	21	Não		
Aluno 11	M	47	Não		
Aluno 12	F	39	Sim	Hack	Agachamento

Aluno 13	M	33	Não		
Aluno 14	M	37	Não		
Aluno 15	F	41	Não		
Aluno 16	F	20	Não		
Aluno 17	F	35	Não		
Aluno 18	M	22	Sim	Puxador	Barra Fixa
Aluno 19	F	51	Não		
Aluno 20	M	45	Não		
Aluno 21	M	49	Não		
Aluno 22	M	25	Não		
Aluno 23	M	49	Sim	Leg horizontal/ Cross Over	Leg 45 / Crucifixo
Aluno 24	M	38	Sim	Remada Baixa	Pec Deck Invertido
Aluno 25	M	18	Não		
Aluno 26	M	62	Sim	Agachamento	Leg horizontal
Aluno 27	F	22	Não		
Aluno 28	F	37	Sim	Remada baixa	Remada aberta
Aluno 29	M	45	Não		
Aluno 30	M	49	Não		
Aluno 31	F	56	Não		
Aluno 32	F	42	Não		
Aluno 33	F	55	Não		
Aluno 34	F	32	Não		
Aluno 35	F	31	Sim	Glúteo na máquina	Glúteo com caneleira
Aluno 36	M	45	Não		
Aluno 37	M	38	Não		
Aluno 38	M	59	Sim	Agachamento	Hack
Aluno 39	M	50	Não		
Aluno 40	M	34	Não		
Aluno 41	M	41	Não		
Aluno 42	M	27	Não		
Aluno 43	M	51	Não		
Aluno 44	M	44	Não		
Aluno 45	M	48	Sim	Remada Baixa	Pec Deck Invertido
Aluno 46	F	63	Sim	Agachamento	Leg horizontal
Aluno 47	F	59	Sim	Agachamento	Leg horizontal
Aluno 48	M	31	Não		
Aluno 49	M	56	Não		
Aluno 50	M	61	Sim	Puxador Invertido/Agachamento	Puxador Costas / Leg horizontal

Aluno 51	F	40	Não		
Aluno 52	M	23	Não		
Aluno 53	M	33	Não		
Aluno 54	M	41	Não		
Aluno 55	F	44	Sim	Cadeira Flexora	Mesa Flexora
Aluno 56	F	26	Não		
Aluno 57	M	55	Sim	Cross Over	Crucifixo
Aluno 58	F	37	Não		
Aluno 59	F	26	Não		
Aluno 60	F	30	Sim	Hack	Leg 45
Aluno 61	M	19	Não		
Aluno 62	M	51	Não		
Aluno 63	F	34	Não		

6.2.2 Resultados

Dos 63 novos treinos solicitados, um exercício de cada grupo foi sugerido pelo OntoGymWP. Destes, 44 sugestões foram aceitas e 19 sofreram alterações de pelo menos um exercício, sendo:

- **Modificações do usuário**: 8 modificações foram feitas para atender a preferências pessoais do aluno, relacionadas com suas afinidades a determinados exercícios.
- **Modificações do personal**: Por limitações físicas, segundo os instrutores, 11 alunos não poderiam realizar as atividades sugeridas pelo sistema e seriam substituídas pelo personal.

De maneira geral a avaliação do protótipo pelos instrutores da academia foi positiva, porém foram feitos alguns apontamentos:

- Recomendaram que o protótipo sugerisse mais atividades para cada grupo de treino (aquecimento, peito, pernas e costas). Isso refletiria melhor a realidade de treino da maioria dos alunos;
- É necessário que o protótipo considere a intensidade ou número de movimentos para cada atividade sugerida;

- Outro ponto importante para o treinamento físico está ligado a deficiências ou limitações físicas. O protótipo não foi pensado para considerar tipos de exercícios que alguns alunos não podem executar.

6.3 Discussão

A partir da avaliação funcional e da avaliação empírica pode-se perceber que o modelo proposto neste trabalho possibilita a construção de aplicações com capacidade de análise e seletividade, indispensáveis às *soft ontologies*.

Em todos os critérios levantados para os testes da avaliação funcional, o protótipo respondeu positivamente, apresentando dados consistentes com o esperado.

Sobre a avaliação empírica, de maneira geral os treinos propostos foram bem aceitos e haveria uma facilitação do trabalho do personal, uma vez que o treino era parcialmente sugerido pelo protótipo.

Das propostas montadas com o auxílio do OntoGymWP, analisando a relação de treinos aceitos e alterados, as justificativas para as substituições e os apontamentos apresentados pelos instrutores, observa-se que a maioria das situações ocorrem por necessidade de refinamento do protótipo, com ampliação do protótipo e inclusão de regras de negócio que permitam um funcionamento mais próximo da realidade testada, sendo uma limitação da implementação e não da arquitetura proposta. O modelo proposto foi pensado de maneira ampla e contempla diversas situações que exigem análise de comportamento de usuários, enquanto o objetivo do protótipo OntoGymWP é realizar uma avaliação da aplicação do modelo em um cenário específico e simplificado. Sendo assim, os problemas apontados não comprometem a validação do comportamento da arquitetura conceitual proposta neste trabalho.

Diante do exposto, o protótipo OntoGymWP permitiu testar o funcionamento da *soft ontology* para o cenário simplificado apresentado. Percebe-se que baseado no modelo proposto nesta dissertação, foi possível automatizar, de maneira personalizada, a sugestão de treinos aos alunos, baseado no perfil e objetivos individuais e baseado também no roteiro de treino de outros atletas cujas características são semelhantes ao aluno analisado.

Algumas simplificações foram adotadas na construção da primeira versão do protótipo OntoGymWP. O objetivo do protótipo era ser uma prova de conceito para nossa arquitetura. Uma das simplificações foi adotar uma atividade de cada tipo no plano de treinamento. Outras simplificações se referem ao escopo das funcionalidades de suporte de perfil e decisão. Além disso, é importante mencionar que o OntoGymWP, neste estágio, não é um sistema enativo, mas sim um protótipo para avaliar ontologias que podem ser utilizadas em sistemas enativos no futuro.

7. Conclusão e Trabalhos Futuros

A tecnologia da Web está cada vez mais integrada à rotina das pessoas, suas atividades muitas vezes são flexíveis e pertencem a domínios abertos. Dentro deste contexto, é necessário que o suporte baseado em computador ofereça soluções dinâmicas e adaptáveis, tornando crucial que os computadores lidem com as informações na Web de maneira adequada. Assim, os desafios que permeiam o problema da modelagem de softwares inteligentes e que sejam capazes de lidar com interpretações subjetivas e conceitos mal definidos, para apoiar dinamicamente as atividades diárias das pessoas, fazem deste um problema bastante desafiador.

Um agravante do problema percebido durante o trabalho é que desenvolver tecnologias que permitam aplicação em domínios indefinidos com hierarquias maleáveis e interativamente exploráveis nos leva à necessidade de exploração em múltiplas perspectivas e aumenta a complexidade computacional, essas características são complexas e difíceis de serem modeladas, principalmente quando se busca uma compreensão mais abrangente e eficiente.

Ao responder a questão de pesquisa: "***Como modelar, implementar e utilizar soft ontologies para representar domínios com conceitos incertos/difusos e dinâmicos?***" esta dissertação tem como principal contribuição apresentar uma proposta de modelagem de *soft ontologies* e arquitetura conceitual, que permite sua aplicação na construção de sistemas dinamicamente evolutivos para domínios com conceitos incertos e dinâmicos.

Para isso foi apresentado um modelo de arquitetura conceitual, baseado em *RDF fuzzy*, que permite a construção e representação de uma *soft ontology*. O foco é facilitar o desenvolvimento de sistemas que permitam personalização das experiências dos usuários, o que possibilita pensar em soluções influenciadas pelo comportamento das pessoas. Apresentou-se uma solução composta por quatro algoritmos baseados em grafos *RDF* que processam elementos, analisando e propondo respostas personalizadas. Para validar esse modelo foi desenvolvido um protótipo de planejador de treino de academia e validado dois cenários de avaliação, demostrando o funcionamento e a viabilidade do modelo conceitual proposto.

A hipótese levantada no início desta dissertação foi confirmada uma vez que defendia que soluções baseadas em *RDF fuzzy* podem auxiliar na implementação de *soft ontologies*, uma vez que o modelo proposto nesta dissertação é baseado em RDF Fuzzy e foi usado com sucesso na construção de um sistema para recomendações de treinamento físico, atividade ligada à figura humana.

A solução apresentada, baseada em quatro algoritmos, permitiu ao final dessa dissertação: i) determinar o grupo de conceitos similares e que podem influenciar o conhecimento da *soft ontology*; ii) extrair um sub-grafo de conceitos ao analisar o grafo de conceitos *RDF Fuzzy*, usando a sugestão do algoritmo Dijkstra; iii) calcular e atualizar o peso das arestas do grafo de conceitos *RDF Fuzzy*, de acordo com *feedback* e modificação dos conceitos da *soft ontology*; e por fim iv) incluir ou excluir nós (ontodimenções) no grafo de conceitos *RDF Fuzzy*. Os quatro itens apresentados permitem criar sistemas que ofereçam a personalização das experiências dos usuários.

Novas versões do OntoGymWP podem incorporar sensores corporais, avaliar expressões corporais (por exemplo, usando técnicas de visão computacional) e reações sociais dinâmicas para melhorar ainda mais a experiência do usuário. Esses elementos podem ser usados como *feedback* (conforme suportado por nossa arquitetura) e acionar a reconfiguração da ontologia com base neles. Além disso, tecnologias avançadas de aprendizado de máquina podem ser incorporadas para fornecer a análise do *feedback* e orientar a evolução das ontologias (nos pesos, por exemplo). Algoritmos e planos de ação mais sofisticados podem ser explorados usando a mesma arquitetura. Essas extensões requerem mais estudos, além de lidar com desafios conceituais e tecnológicos em áreas relacionadas.

Como trabalhos futuros, pode-se apontar a extensão na realização de testes no ambiente de academia de ginástica, considerando diferentes configurações de parâmetros e análises, como as sugeridas pelos instrutores da academia e a realização de estudos de viabilidade para uso do modelo proposto em outros cenários ligados à figura humana, como escolas, museus, hospitais, entre outros. Pretendemos também explorar algoritimos de aprendizado de máquina em diversas etapas, tais como definição dos grupos e para predizer práticas adequadas. Sugere-se ainda ampliar os estudos deste trabalho e incluir

estudos relacionados ao desenvolvimento de sistemas enativos, que foram fatores motivacionais nas atividades desenvolvidas nessa dissertação.

Referências Bibliográficas

AGHAEI, Sareh; NEMATBAKHSH, Mohammad Ali; FARSANI, Hadi Khosravi. Evolution of the world wide *web*: From *WEB* 1.0 TO *WEB* 4.0. **International Journal of *Web* & Semantic Technology**, v. 3, n. 1, p. 1-10, 2012.

AHLAWAT, Nishant; GAUTAM, Ashu; SHARMA, Nidhi. Use of logic gates to make edge avoider robot. **International Journal of Information & Computation Technology**, v. 4, n. 6, p. 630, 2014.

ALMENDROS-JIMENEZ, Jesus M.; BECERRA-TERÓN, Antonio; MORENO, Ginés. Fuzzy queries of social networks with FSA-SPARQL. **Expert Systems with Applications**, v. 113, p. 128-146, 2018.

ANTONIOU, Grigoris; VAN HARMELEN, Frank. Web ontology language: Owl. In: **Handbook on ontologies**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. p. 67-92.

BAO, Hongyang; ZHAI, Jun; BAI, Mudan; HU, Xiangpei. Knowledge Representation for Fuzzy Systems Based on Linguistic Variable Ontology and RDF. In: **International Workshop on Computer Science for Environmental Engineering and EcoInformatics**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 395-400. 2011.

BERNERS-LEE, Tim. **Linked data-design issues**. http://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html, 2006.

BERNERS-LEE, Tim; HENDLER, James; LASSILA, Ora. The semantic *web*. **Scientific american**, v. 284, n. 5, p. 28-37, 2001.

BLASCH, Erik P.; DORION, Eric; VALIN, Pierre; BOSSE, Eloi; ROY, Jean. Ontology alignment in geographical hard-soft information fusion systems. In: **2010 13th International Conference on Information Fusion**. IEEE, p. 1-8. 2010.

BLOOM, Benjamin S. et al. Taxonomy of educational objectives. Vol. 1: **Cognitive domain**. New York: McKay, p. 20-24, 1956.

BONACIN, Rodrigo; CALADO, Ivo; DOS REIS, Julio Cesar. A Metamodel for Supporting Interoperability in Heterogeneous Ontology Networks. In: **International Conference on Informatics and Semiotics in Organisations**. Springer, Cham, 2018. p. 187-196.

BUCHE, Patrice; DIBIE-BARTHÉLEMY, Juliette; HAEMMERLÉ, Ollivier; THOMOPOULOS, Rallou. The miel++ architecture when rdb, cgs and xml meet for the sake of risk assessment in food products. In: **International Conference on Conceptual Structures**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 158-171. 2006.

BUCHE, Patrice; DIBIE-BARTHÉLEMY, Juliette; HIGNETTE, Gaëlle. Flexible querying of fuzzy rdf annotations using fuzzy conceptual graphs. In: **International Conference on Conceptual Structures**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 133-146. 2009.

CAGLIONI, Matteo; FUSCO, Giovanni. Formal Ontologies and Uncertainty. In Geographical Knowledge. **Tema. Journal of Land Use, Mobility and Environment**, 2014.

CASTRO, Leandro Nunes de; FERRARI, Daniel Gomes. **Introdução à mineração de dados**: conceitos básicos, algoritmos e aplicações. São Paulo: Saraiva, 2016.

CATARINO, Maria Elisabete; DE SOUZA, Terezinha Batista. A representação descritiva no contexto da *web* semântica. **Transinformação**, v. 24, n. 2, p. 77-90, 2012.

DIAZ-KOMMONEN, L., COLLAO, A.Jr.; KAIPAINEN, M.; PIETARILA, J. Soft ontologies and similarity cluster tools to facilitate exploration and discovery of cultural heritage resources. In: **14th International Workshop on Database and Expert Systems Applications, 2003. Proceedings.** IEEE, p. 75-79. 2003.

DIETZE, Stefan; BENN, Neil; DOMINGUE, John; CONCONI, Alex; CATTANEO, Fabio. Two-fold service matchmaking–applying ontology mapping for semantic *web* service discovery. In: **Asian Semantic *Web* Conference**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 246-260. 2009A.

DIETZE, Stefan; BENN, Neil; DOMINGUE, John; ORTHUBER, Wolfgang. Blending the physical and the digital through conceptual spaces. 2009B.

DIETZE, Stefan; DOMINGUE, John. Bridging between sensor measurements and symbolic ontologies through conceptual spaces. 2009.

DIETZE, Stefan; TANASESCU, Vlad. Spatial groundings for meaningful symbols. 2009.

DIVYA, T.; NITHYA, M. Exclusive technique for stocking and probing data table integration using the Internet. In: **International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES2014)**. IEEE, p. 1-5. 2014.

DOWTY, David R.; WALL, Robert; PETERS, Stanley. **Introduction to Montague semantics**. Springer Science & Business Media, 2012.

DUCHARME, Bob. **Learning SPARQL:** querying and updating with SPARQL 1.1. " O'Reilly Media, Inc.", 2013.

ECHARTE, Francisco; ASTRÁIN, José Javier; CÓRDOBA, Alberto; VILLADANGOS, Jesús. Improving folksonomies quality by syntactic tag variations grouping. In: **Proceedings of the 2009 ACM symposium on Applied Computing**. ACM, p. 1226-1230. 2009.

EZZIKOURI, Hanane; OUKESSOU, Mohamed; YOUNESS, Madani; ERRITALI, Mohammed. Fuzzy Cross Language Plagiarism Detection (Arabic-English) using WordNet in a Big Data environment. In: **Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Cloud and Big Data Computing**. ACM, p. 22-27. 2018.

FAYE, David C.; CURÉ, Olivier; BLIN, Guillaume. A survey of RDF storage approaches. **Revue Africaine de la Recherche en Informatique et Mathématiques Appliquées**, v. 15, p. 11-35, 2012.

FERREIRA, Jaider Andrade; SANTOS, Plácida Leopoldina Ventura Amorim da Costa. O modelo de dados Resource Description Framework (RDF) e o seu papel na descrição de recursos. **Informação & Sociedade: estudos**, v. 23, n. 2, 2013.

FREITAS, André; O'RIAIN, Sean; CURRY, Edward; DA SILVA, João C.P.; CARVALHO, Danilo S. Representing texts as contextualized entity-centric linked data graphs. In: **2013 24th International Workshop on Database and Expert Systems Applications**. IEEE, p. 133-137. 2013.

GALLAGHER, Shaun; HUTTO, Daniel; SLABY, Jan; COLE, Jonathan. The brain as part of an enactive system. **Behavioral and Brain Sciences**, v. 36, n. 4, p. 421-422, 2013.

HAUTAMÄKI, Antti. Points of view: A conceptual space approach. **Foundations of Science**, v. 21, n. 3, p. 493-510, 2016.

HAYASHI, Elaine; BARANAUSKAS, M. Cecília C. Accessibility and affect in technologies for museums: a path towards socio-enactive systems. In: **Proceedings of the XVI Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems (IHC 2017).** ACM, Article 7, 1–10. 2017.

HAZMAN, Maryam; EL-BELTAGY, Samhaa R.; RAFEA, Ahmed. A survey of ontology learning approaches. **International Journal of Computer Applications**, v. 22, n. 9, p. 36-43, 2011.

HITZLER, Pascal; PARSIA, Bijan. Ontologies and rules. In: **Handbook on Ontologies**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. p. 111-132.

HONG-QIAO, Yan; YA-MING, Mao; SHUN-CHENG, Wu; KUN, Tian; FEI, Yu. The research and application of oil and gas production safety early-warning based on large data analysis technology. In: **Proceedings of the 2018 International Conference on Data Science and Information Technology**. ACM, p. 154-158. 2018.

ISOTANI, Seiji; BITTENCOURT, Ig Ibert. **Dados Abertos Conectados:** Em busca da *Web* do Conhecimento. Novatec Editora, 2015.

JAGVARAL, Batselem; WANGON, Lee; PARK, Hyun-Kyu; JEON, Myungjoong; LEE, Nam-Gee; PARK, Young-Tack. Large-scale incremental OWL/RDFS reasoning over fuzzy RDF data. In: **2017 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp)**. IEEE, p. 269-273. 2017.

JAIN, Vishal; SINGH, Mayank. Ontology based information retrieval in semantic *web*: A survey. **International Journal of Information Technology and Computer Science (IJITCS)**, v. 5, n. 10, p. 62, 2013.

JUSTO, Andrey Victor; DOS REIS, Julio Cesar; CALADO, Ivo; BONACIN, Rodrigo; JENSEN, Felipe Rodrigues. Exploring Ontologies to Improve the Empathy of Interactive Bots. In: **2018 IEEE 27th International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE)**. IEEE, p. 261-266. 2018.

LEACH, Sonia M.; LU, James J. Query processing in annotated logic programming: Theory and implementation. **Journal of Intelligent Information Systems**, v. 6, n. 1, p. 33-58, 1996.

LI, Guanfeng; YAN, Li; MA, Zongmin. Pattern match query over fuzzy RDF graph. **Knowledge-Based Systems**, v. 165, p. 460-473, 2019A.

LI, Guanfeng; YAN, Li; MA, Zongmin. An approach for approximate subgraph matching in fuzzy RDF graph. **Fuzzy Sets and Systems**, 2019B.

LIU, Chang; QI, Guilin; WANG, Haofen; YU, Yong. Fuzzy reasoning over RDF data using OWL vocabulary. In: **Proceedings of the 2011 IEEE/WIC/ACM International Conferences on *Web* Intelligence and Intelligent Agent Technology-Volume 01**. IEEE Computer Society, p. 162-169. 2011.

LOMBELLO, Luma.O., DOS REIS, Júlio César, Bonacin, Rodrigo. Soft ontologies as fuzzy rdf statements. In: **IEEE 28th International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE)**. pp. 289–294 (2019). https://doi.org/10.1109/WETICE.2019.00067

LOPES, Nuno; POLLERES, Axel; STRACCIA, Umberto; ZIMMERMANN; Antoine. AnQL: SPARQLing up annotated RDFS. In: **International Semantic *Web* Conference**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 518-533. 2010.

LV, Yanhui; MA, Zongmin M.; YAN, Li. Fuzzy RDF: A data model to represent fuzzy metadata. In: **2008 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (IEEE World Congress on Computational Intelligence)**. IEEE, p. 1439-1445. 2008.

KAIPAINEN, Mauri; RAVAJA, Niklas; TIKKA, Pia; VUORI, Rasmus; PUGLIESE, Roberto; RAPINO, Marco; TAKALA, Tapio. Enactive systems and enactive media: embodied human-machine coupling beyond interfaces. **Leonardo**, v. 44, n. 5, p. 433-438, 2011.

KAIPAINEN, Mauri; NORMAK, Peeter; NIGLAS, Katrin; KIPPAR, Jaagup; LAANPERE, Mart. Soft ontologies, spatial representations and multi-perspective explorability. **Expert Systems**, v. 25, n. 5, p. 474-483, 2008.

KAIPAINEN, Mauri. Perspective-relative narrative media and power. **e-Society 2010**, p. 553, 2010.

KAIPAINEN, Mauri; HAUTAMÄKI, Antti. Epistemic pluralism and multi-perspective knowledge organization: Explorative conceptualization of topical content domains. **KO KNOWLEDGE ORGANIZATION**, v. 38, n. 6, p. 503-514, 2011.

KITCHENHAM, Barbara. Procedures for performing systematic reviews. **Keele, UK, Keele University**, v. 33, n. 2004, p. 1-26, 2004.

KROEFF, Renata Fischer da Silveira; GAVILON, Póti Quartiero; MARASCHIN, Cleci. O não-sentido na Cognição Enativa: El non-sense en la Cognición Enactiva. **Revista Polis e Psique**, v. 6, n. 2, p. 204-210, 2016.

MA, Zongmin; ZHANG, Fu; YAN, Li; CHENG, Jingwei. Querying fuzzy description logics and ontology knowledge bases. In: **Fuzzy Knowledge Management for the Semantic *Web***. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 181-231. 2014.

MA, Zongmin; LI, Guanfeng; YAN, Li. Fuzzy data modeling and algebraic operations in RDF. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 351, p. 41-63, 2018.

MANOLIS, Nikos; TZITZIKAS, Yannis. Interactive exploration of fuzzy RDF knowledge bases. In: **Extended Semantic *Web* Conference**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 1-16. 2011.

MARTINEZ-GARCIA, Agustina; MORRIS, Simon; TSCHOLL, Michael; TRACY, Frances; CARMICHAEL, Patrick. Case-based learning, pedagogical innovation, and semantic *web* technologies. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 5, n. 2, p. 104-116, 2011.

MATHES, Adam. Folksonomies: Cooperative classification and communication through shared metadata, 2004. Disponível em: <**http://www. adammathes. com/academic/computer-mediated-communication/folksonomies. html**>. Acesso em: Março de 2019.

MAZZIERI, Mauro. A fuzzy RDF semantics to represent trust metadata. In: **1st Workshop on Semantic *Web* Applications and Perspectives (SWAP2004)**. p. 83-89. 2004.

MAZZIERI, Mauro; DRAGONI, Aldo Franco. Labeled RDF. In: International Conference on Fuzzy Systems. IEEE, p. 1-7. 2010.

MIDDLETON, S.E., ALANI, H., SHADBOLT, N.R., DE ROURE, D.C.: Exploiting synergy between ontologies and recommender systems. In: **Proceedings of the 3rd International Conference on Semantic Web** - Volume 55. p. 41{50. SemWeb'02, CEURWS.org, Aachen, DEU (2002)

MOORE, Roger K. Introducing a pictographic language for envisioning a rich variety of enactive systems with different degrees of complexity. I**nternational Journal of Advanced Robotic Systems**, v. 13, n. 2, p. 74, 2016.

NICOLETTI, Maria do Carmo; HRUSCHKA JR, E. R. **Fundamentos da teoria dos grafos para computaçao**. Série Apontamentos. EdUFSCar, Sao Carlos, ed. rev. edition, 2013.

PARRY, David. A fuzzy ontology for medical document retrieval. In: **Proceedings of the second workshop on Australasian information security, Data Mining and *Web* Intelligence, and Software Internationalisation**-Volume 32. Australian Computer Society, Inc., p. 121-126. 2004.

PATA, Kai. Participatory design experiment: Storytelling Swarm in hybrid narrative ecosystem. In: **Handbook of Research on Methods and Techniques for Studying Virtual Communities: Paradigms and Phenomena**. IGI Global, p. 482-508. 2011.

PIVERT, Olivier; SLAMA, Olfa; SMITS, Grégory; THION, Virginie. A fuzzy extension of SPARQL for querying gradual RDF data. In: **2016 IEEE Tenth International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS)**. IEEE, p. 1-2. 2016.

PIVERT, Olivier; SLAMA, Olfa; THION, Virginie. An extension of SPARQL with fuzzy navigational capabilities for querying fuzzy RDF data. In: **2016 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)**. IEEE, p. 2409-2416. 2016.

PIVERT, Olivier; SLAMA, Olfa; THION, Virginie. Fuzzy quantified queries to fuzzy RDF databases. In: **2017 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)**. IEEE, p. 1-7. 2017.

PRAKOSO, Yudho; MURFI, Hendri; WIBOWO, Arie. Kernelized eigenspace based fuzzy C-means for sensing trending topics on Twitter. In: **Proceedings of the 2018 International Conference on Data Science and Information Technology**. ACM, p. 6-10. 2018.

PUGLIESE, Roberto; LEHTONEN, Klaus. A framework for motion based bodily enaction with virtual characters. In: **International Workshop on Intelligent Virtual Agents**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 162-168. 2011.

PUGLIESE, R., TIKKA, P., KAIPAINEN, M. Chapter Four Navigating Story Ontospace: Perspective-Relative Drive and Combinatory Montage of Cinematic Content. **Expanding Practices in Audiovisual Narrative**, p. 105, 2014.

PUUSTJÄRVI, Juha; PUUSTJÄRVI, Leena. The Problem of Searching Interdisciplinary Learning Objects. In: **Proceedings of the 16th International Conference on Information Integration and *Web*-based Applications & Services**. ACM, p. 277-282. 2014.

RAJAONARIVO, Landy; MAISEL, Eric; DE LOOR, Pierre. An evolving museum metaphor applied to cultural heritage for personalized content delivery. **User Modeling and User-Adapted Interaction**, v. 29, n. 1, p. 161-200, 2019.

ROCHE, Christophe. Ontology: a survey. In: **8th Symposium on Automated Systems Based on Human Skill and Knowledge IFAC**. 2003.

SAHRAOUI, Kharroubi; YOUCEF, Dahmani; OMAR, Nouali. Improvement of Collaborative Filtering Systems through Resource Description Framework. In: **Proceedings of the International Conference on Intelligent Information Processing, Security and Advanced Communication**. ACM, p. 16. 2015.

SAMPAIO, Rosana F.; MANCINI, Marisa C. Systematic review studies: a guide for careful synthesis of the scientific evidence. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 11, n. 1, p. 83-89, 2007.

SCHMID, Ute; RAGNI, Marco; GONZALEZ, Cleotilde; FUNKE, Joachim. The challenge of complexity for cognitive systems. 2011.

SHAO, Jingfeng. Research on Fuzzy Ontology E-learning Based on User Profile. In: **Proceedings of the 2017 International Conference on E-Education, E-Business and E-Technology**. ACM, p. 46-49. 2017.

SHIH, Wen-Chung; YANG, Chao-Tung; TSENG, Shian-Shyong. Fuzzy folksonomy-based index creation for e-learning content retrieval on cloud computing

environments. In: **Fuzzy Systems (FUZZ), 2011 IEEE International Conference on**. IEEE, p. 965-970. 2011.

SHIRKY, Clay. Ontology is overrated: Categories, links, and tags, 2005. Disponível em: <**http://www. shirky. com/writings/ontology_overrated.htm**>. Acesso em: Março de 2019.

STAAB, Steffen; STUDER, Rudi (Ed.). Handbook on ontologies. **Springer Science & Business Media**, 2010.

STRACCIA, Umberto. A minimal deductive system for general fuzzy RDF. In: **International Conference on *Web* Reasoning and Rule Systems**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 166-181. 2009.

UDREA, Octavian; RECUPERO, Diego Reforgiato; SUBRAHMANIAN, V. S. Annotated rdf. In: European Semantic Web Conference. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 487-501. 2006.

VANEKOVÁ, Veronika; BELLA, Ján; GURSKÝ, Peter; HORVÁTH, Tomáš. Fuzzy RDF in the semantic web: Deduction and induction. In: Proceedings of Workshop on Data Analysis (WDA 2005). p. 16-29. 2005.

VARELA, Francisco J.; THOMPSON, Evan; ROSCH, Eleanor. **The embodied mind:** cognitive science and human experience, 1991.

VARELA, Francisco J.; THOMPSON, Evan; ROSCH, Eleanor. **The embodied mind:** cognitive science and human experience, revised edition. 2016.

VERA, Maria del Mar Sánchez; BREIS, Jesualdo Tomás Fernández; SÁNCHEZ, José Luis Serrano; ESPINOSA, Maria da Paz Prendes. Practical experiences for the development of educational systems in the semantic *web*. **Journal of New Approaches in Educational Research (NAER Journal)**, v. 2, n. 1, 2013.

WAL, Thomas Vander. Folksonomy. 2007. Disponível em: <http://www.vanderwal.net/ essays/051130/folksonomy.pdf>. Acesso em: Fevereiro de 2019.

W3C. 2014. RDF: Resource Description Framework. Disponível em: < https://www.w3.org/RDF/>. Acesso em: Fevereiro de 2019.

WORLD WIDE *WEB* CONSORTIUM *et al.* RDF 1.1 concepts and abstract syntax. 2014A.

WORLD WIDE *WEB* CONSORTIUM *et al.* RDF Schema 1.1. 2014B.

YAGUINUMA, Cristiane A.; SANTOS, Marilde TP; BIAJIZ, Mauro. Meta-ontologia Difusa para representação de Informações Imprecisas em Ontologias. In: **Workshop on Ontologies and Metamodeling in Software and Data Engineering**. SBC, p. 57-67. 2007.

YE, Juan; STEVENSON, Graeme; DOBSON, Simon. A top-level ontology for smart environments. **Pervasive and mobile computing**, v. 7, n. 3, p. 359-378, 2011.

ZAHIA, Marouf; MOHAMED, Benslimane Sidi. Fuzzy clustering-based approach to derive hierarchical structures from folksonomies. In: **Computer Systems and Applications (AICCSA), 2013 ACS International Conference on.** IEEE, p. 1-8. 2013.

ZHAI, Jun; SONG, Yamei. Semantic retrieval based on SPARQL and fuzzy ontology for electronic commerce. In: **2010 International Conference of Information Science and Management Engineering**. IEEE, p. 399-402. 2010.

ZIMMERMANN, Antoine, LOPES, Nuno; POLLERES, Axel; STRACCIA, Umberto. A general framework for representing, reasoning and querying with annotated semantic *web* data. ***Web* Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide *Web***, v. 11, p. 72-95, 2012.