

Modelos de contexto para sistemas adaptativos baseados em modelos de usuário e localização

Guilherme Medeiros Machado¹

Orientador: José Palazzo Moreira de Oliveira¹

Resumo: Sistemas adaptativos são sistemas que essencialmente coletam dados relacionados ao usuário e a partir desses dados constroem um modelo e adaptam-se aos diferentes perfis de usuários bem como seu relacionamento com o ambiente. Uma das peças fundamentais que possibilitam esta adaptação são os modelos de contexto, que representam características atuais do usuário e do ambiente. Neste trabalho são criados modelos ontológicos de contexto fortemente baseados na localização e no modelo do usuário para a construção de um sistema adaptativo de apoio acadêmico, para plataformas móveis, que com base na localização e no modelo do usuário oferece diferentes tipos de serviços, ora acadêmicos ora administrativos, para diferentes tipos de usuários, dentro de uma universidade.

Abstract: Adaptive systems are systems that essentially collect user data to build a user model and adapt to different user's profiles and environmental situation. One of the key components for this adaptation is the context model that represents current features of the user and environment. In this paper we have created ontological context models strongly based in location and user

¹ Instituto de Informática, UFRGS
{g.medeiros, palazzo @inf.ufrgs.br}

models information to build an adaptive system to academic support for mobile platforms, which based on user location and user model offer different services, academics and administrative, to different users, inside a university.

1 Introdução

O aumento expressivo da quantidade de informações disponíveis e a integração de tecnologias são fatores que impulsionaram a evolução dos sistemas de software utilizados para processamento dessas informações. Uma consequência dessa evolução é que os sistemas de software devem se tornar mais versáteis, flexíveis, resilientes, seguros, robustos, energeticamente eficientes, recuperáveis, customizáveis, configuráveis e auto-otimizados, para isso devem adaptar-se às mudanças de contextos operacionais, ambientes ou características do sistema [1].

Para tentar suprir as necessidades de evolução dos sistemas de software, surgem então os sistemas adaptativos, que basicamente são sistemas adaptam seu comportamento de acordo com os diferentes modelos de usuários e com as mudanças ocorridas no ambiente. Um dos componentes mais importantes desses sistemas é o modelo do usuário utilizado nos mesmos, já que é este que provoca o chamado efeito de adaptação, isto é, faz que o sistema se comporte de maneira diferente para diferentes usuários [2].

Além do modelo do usuário, outro componente primordial em um sistema adaptativo é o modelo de contexto, que difere do modelo do usuário, no sentido que este é focado na modelagem de propriedades de longa duração do usuário, enquanto que o modelo de contexto é focado na modelagem de características atuais do usuário e do ambiente.

Referente aos modelos de contexto são citadas três maneiras comuns de construção desses, baseada em papéis-objeto, baseadas em localização e baseada em ontologias [3].

A primeira faz uso da linguagem CML, que foi desenvolvida para modelagem conceitual de banco de dados e faz uso de uma notação gráfica para auxiliar as fases de análise e especificação formal de requisitos de sistemas cientes de contexto. Devido ao formalismo da linguagem é possível fazer um mapeamento direto para um sistema de gerenciamento de contexto.

A segunda baseia-se fortemente em informações de localização, sendo esta uma importante informação para entidades, encontrada até na mais amplamente difundida definição de contexto de Dey [4] que define: “Uma entidade é uma pessoa, lugar ou objeto que é considerada relevante para a interação entre o usuário e a aplicação, incluindo o próprio usuário e a aplicação”. Onde a entidade lugar, representa a informação de localização. Os modelos de contexto espaciais geralmente organizam suas informações de contexto, baseando-se na localização física, que podem ser a localização de entidades no mundo real, de sensores ou uma localização associada a uma metáfora. Uma aplicação desse

tipo de modelagem de contexto é em sistemas adaptativos para dispositivos móveis que tendem a focar sua adaptação à informação de localização do usuário, fornecendo um conjunto pequeno de objetos de interesse próximos [2].

A terceira é através do uso de ontologias que devido à capacidade de representação e de raciocínio lógico destas, é possível a descrição de dados complexos de contexto providos de semântica que podem ser compartilhados e podem ter sua consistência checada, bem como descobrir relacionamentos abstratos através de ferramentas de raciocínio. Uma importante linguagem para construção de ontologias é a OWL que em suas versões DL e Lite permite a checagem de consistência e raciocínio sobre o modelo ontológico.

Com base nessas informações, este trabalho propõe a construção de modelos ontológicos de contexto para dispositivos móveis, fortemente baseados em informações de localização e do modelo do usuário. Como domínio de aplicação é selecionado o ambiente universitário e são criados dois cenários para teste dos modelos, além dos cenários também serão construídos os modelos ontológicos e desenvolvido um sistema para plataformas móveis Android. O objetivo desse sistema é indicar locais ou pessoas de interesse, próximos à localização do usuário, bem como indicar materiais de estudo e notificações sobre compromissos do docente ou do discente, para organização dessas informações elas são divididas em dois modelos distintos de usuário, um relativo a informações de dentro da sala de aula e outro às informações extra sala.

O restante do artigo está organizado da seguinte maneira, na seção 2 são apresentados alguns conceitos fundamentais para o entendimento do texto e alguns trabalhos relacionados, na seção 3 são apresentados o cenário de uso e a ontologia construída até o momento, na seção 4 é apresentada a conclusão do trabalho.

2 Conceitos e Trabalhos Relacionados

Alguns conceitos são fundamentais para entendimento do restante do texto, para aqueles que não estão familiarizados com a área a seção 2.1 mostra algumas definições importantes, já na seção 2.2 são apresentados alguns trabalhos que se relacionam com esta pesquisa.

2.1 Conceitos Fundamentais

Sistemas adaptativos são sistemas que possuem a capacidade de auto adaptação, ou seja, são sistemas capazes de adaptar seu comportamento em resposta à percepção do ambiente e do próprio sistema [1]. Como dito anteriormente, um dos componentes de um sistema adaptativo é o seu modelo de contexto, desta forma uma das definições de contexto mais amplamente aceitas é a definição dada por Dey [4], que define o como *“Qualquer informação que pode ser usada para caracterizar a situação de uma entidade. Uma entidade é uma pessoa, lugar ou objeto que é considerada relevante para a interação entre um usuário e uma aplicação, incluindo os próprios usuários e aplicação”*. Uma das maneiras

mais comuns de modelar o contexto é através do uso de ontologias que são definidas por Gruber [5], como uma “Especificação formal e explícita de uma conceituação compartilhada.”. Conceituação refere-se a um modelo abstrato do mundo real, ela é explícita porque os tipos de conceitos utilizados e suas restrições de uso são explicitamente definidos, é formal porque pode ser entendida por máquina e é compartilhada porque captura um conhecimento consensual, aceito por um grupo.

Uma das maiores dificuldades na construção ou captura de uma ontologia é proveniente à sua natureza de ser uma conceituação compartilhada, devido a isto, se duas ou mais pessoas tentarem capturar ou construir uma ontologia de um determinado domínio ela teoricamente deve refletir os mesmos conceitos, propriedades e relacionamentos do domínio em todos os casos, o que nem sempre é verdade. Com o intuito de tentar uniformizar a modelagem de ontologias, uma ontologia de topo, que está acima das ontologias de domínio, foi proposta por Guizzardi [6], nomeada de Unified Foundational Ontology (UFO), está dividida em UFO-A, para objetos continuantes, UFO-B, para eventos e UFO-C que fundamenta-se nas duas anteriores para sistematizar conceitos sociais, tais como plano, ação, objetivo, agente, intencionalidade, comprometimento e compromisso, neste trabalho foi utilizada apenas a UFO-A, como será explicado mais à frente.

2.2 Trabalhos Relacionados

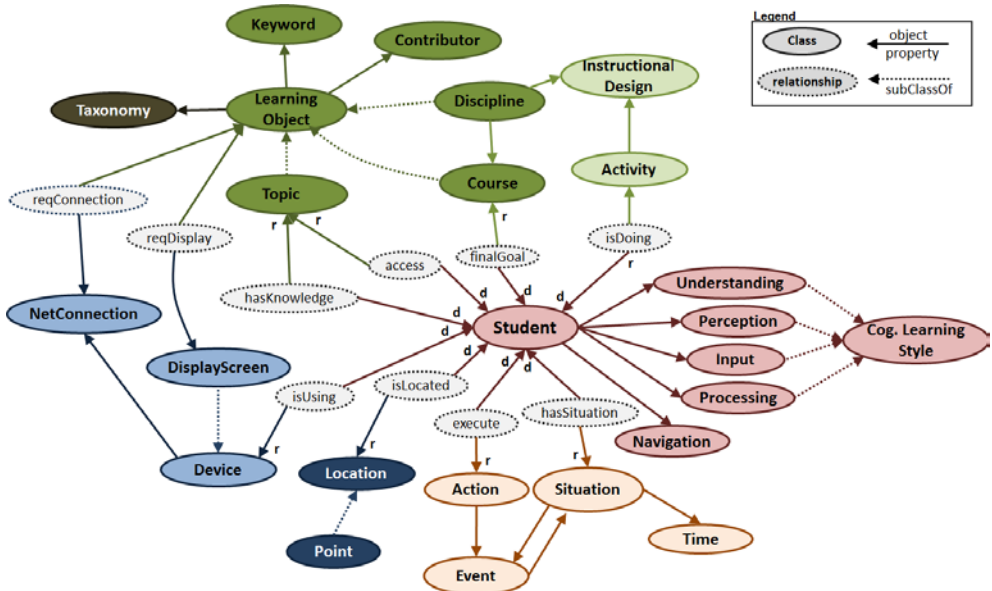


Figura 1. Rede de ontologias proposta por Pernas et al. 2012

O trabalho de Pernas [7] propõe uma rede de ontologias para modelagem de contexto com o intuito de detectar a situação atual de estudantes que estão navegando em ambientes de e-learning. A rede é composta por basicamente três ontologias que cobrem diferentes domínios no contexto educacional, são eles, o domínio do estudante, contendo informações sobre o perfil do estudante, bem como seu comportamento no uso do ambiente e-learning, o domínio de aprendizado, contendo informações sobre os objetos de aprendizado e os recursos educacionais disponíveis para os estudantes e o domínio tecnológico, contendo informações sobre os dispositivos disponíveis e os lugares que cercam o estudante. Além das ontologias que cobrem os domínios de contexto o trabalho define uma ontologia de situação, contendo informações de contexto do aluno em um determinado tempo de início e de fim, a rede completa é mostrada na figura 1.

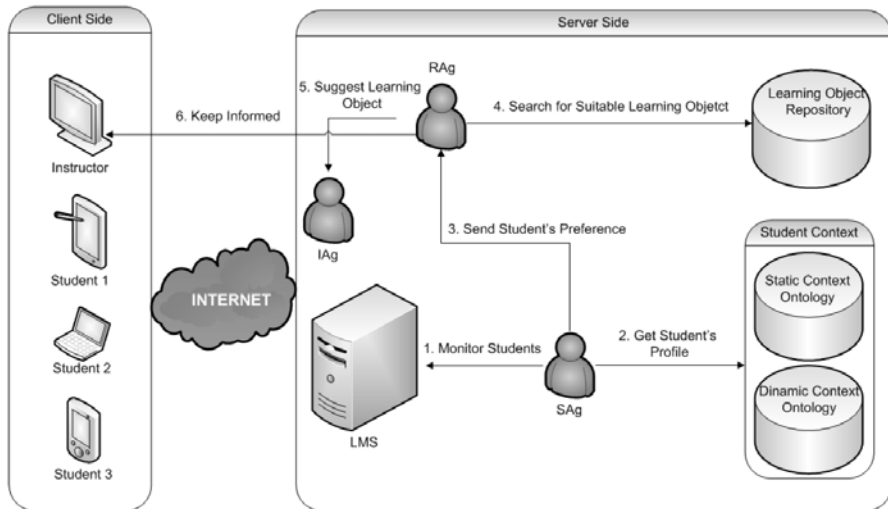


Figura 2. Abordagem para recomendação de objetos de aprendizagem de Silva et al.

O trabalho de Silva [8], propõe um ambiente de aprendizagem, para plataformas móveis, que utiliza agentes de software e ontologias para modelar o contexto de alunos. O objetivo do trabalho é utilizar o contexto para sugerir objetos de aprendizagem mais adequados ao perfil e preferências do aluno. Na figura 2 é mostrada a abordagem proposta pelos autores, onde RAg é o agente de recomendação, SAg é o agente estudante e IAg é o agente de interface. No sistema os SAg são responsáveis por monitorar a atividade dos estudantes em ambientes de aprendizagem e enviar para os RAg informações estáticas e dinâmicas do perfil do estudante recuperado das ontologias de contexto. Os RAg são então responsáveis por identificar objetos de aprendizagem apropriados para o contexto do aluno, com base nas informações dos SAg e dos objetos de aprendizagem disponíveis no repositório. Uma vez identificados os melhores objetos os RAg informam o instrutor e os

IAGs, sendo esses últimos, responsáveis por apresentar os objetos selecionados adaptados da melhor maneira para o estudante, considerando as capacidades de seu dispositivo móvel.

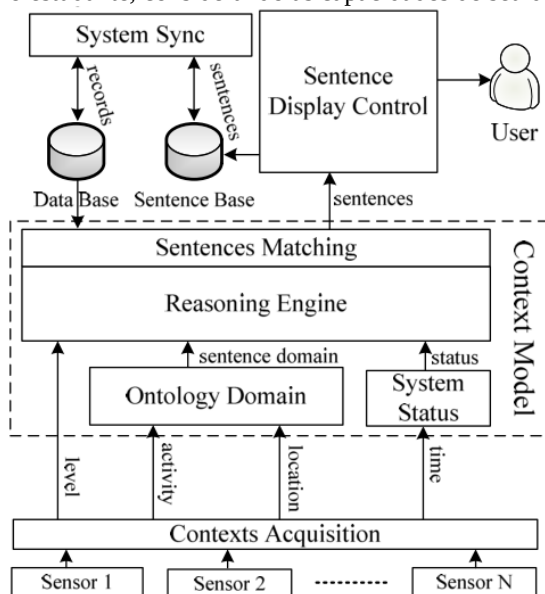


Figura 3. Modelo de contexto e arquitetura proposta por Al-Mekhlafi et al.

O trabalho de Al-Mekhlafi [9] propõe uma abordagem ciente de contexto para aprendizagem de língua chinesa em dispositivos móveis, batizada de CAMCLL (Context Aware Mobile Chinese Language Learning), o objetivo dessa abordagem é solucionar dois problemas comuns enfrentados por alunos estrangeiros que tentam aprender a língua chinesa. O primeiro deles é a falta de um serviço de guia quando os mesmos estão em situações cotidianas (por exemplo, em um banco, hospital, aeroporto, etc.). As vezes eles não conseguem se comunicar com falantes nativos. O segundo problema é que para novos estudantes, seu nível de linguagem impede a realização de uma conversa no idioma chinês e as vezes eles acabam se perdendo em cidades ou ruas. A abordagem porém não propõe substituir as aulas ministradas por um professor em sala de aula, mas sim auxiliar o estudantes em situações cotidianas como um guia através de seu dispositivo móvel. Para isso é construído um modelo de contexto que leva em consideração quatro atributos de contexto, são eles: a) o tempo, responsável por marcar o status do sistema, b) localização, obtida através do GPS, c) atividade, atividades presentes no calendário do dispositivo móvel e d) nível, que é dividido em duas partes, o nível do usuário no banco de dados do sistema e o nível da sentença, armazenada na base de sentenças. Que após serem combinados serão executados no motor de raciocínio. A figura 3 mostra a arquitetura e o modelo de contexto proposto no trabalho.

3 Modelagem Proposta

Neste trabalho é proposta a modelagem do contexto, utilizando ontologias, de um professor convidado por um grupo de pesquisa de uma universidade e a de um aluno de pós-graduação, além disso ainda é considerado que o aluno de pós-graduação possui dois comportamentos distintos, ora está interessado em assuntos concernentes à sala de aula (por exemplo, provas, trabalhos, artigos, aulas e etc.), ora em assuntos extra sala (por exemplo, débitos de documentos junto a secretaria, localização de restaurantes e bibliotecas, e etc.). Para validar essas modelagens será construído um sistema adaptativo para plataformas móveis Android e para capturar as ontologias relativas a esses contextos, foram elaborados dois cenários, nas próximas subseções são mostrados esses cenários e a metodologia utilizada durante a modelagem.

3.1 Cenários

O primeiro cenário construído foi o do convidado, por este ser considerado mais simples que o do aluno de pós-graduação, já que o professor tem interesse apenas em assuntos extra sala de aula, facilmente notável no desenvolvimento do mesmo pois não existem interesses por parte do professor em provas, trabalhos acadêmicos ou qualquer outro assunto relacionado à sala de aula, a seguir é mostrado o cenário elaborado.

“O professor John está visitando a UFRGS em convite do grupo de sistemas de informação, assim que chegou à universidade ele conectou seu smartphone à rede do INF e acessou o sistema adaptativo de apoio acadêmico, que reconheceu sua localização aproximada através do roteador em que ele está conectado e após identificá-lo, através de suas credenciais presentes no telefone, verificou que a sala 213 do prédio 43424 estava disponível para acomodá-lo temporariamente. Após isso o sistema realizou uma busca na base da DBLP e do Google Acadêmico e identificou que o professor João é um dos coautores do professor John. O sistema então enviou uma mensagem ao professor João avisando-o da presença do professor John e informando sua localização, o sistema também alertou a secretaria do instituto de sua presença na universidade. Assim que o professor João leu a notificação da presença do professor John o sistema notificou-o da ciência do professor João. Após receber a mensagem de que o professor John está no INF, a secretária envia uma notificação dizendo que ele deve passar na secretaria para receber um cheque que cobrirá suas despesas de viagem, junto com a notificação é enviada a localização da secretaria. Próximo ao horário do almoço o sistema envia uma mensagem ao professor John exibindo a localização dos restaurantes do campus com as respectivas avaliações dadas por outros usuários. O professor então recebe outra notificação do sistema avisando que sua palestra foi transferida do auditório azul para o auditório do prédio 67 devido a quantidade de pessoas que registraram interesse e que está confirmado o horário da palestra às 15:30. Mais tarde, próximo do horário da palestra, o professor recebe uma mensagem para confirmar sua presença. Minutos antes da palestra ele recebe a informação da quantidade de pessoas que confirmaram presença através do convite feito através do sistema. Após a palestra, já próximo do horário de fim de expediente, ele recebe alguns telefones de taxis

disponíveis próximos a sua localização, bem como o valor estimado de uma corrida de sua localização atual até o hotel onde está hospedado.”

O segundo cenário é o do aluno de pós-graduação, este ainda está em fase de desenvolvimento e sofrerá mudanças consideráveis no desenvolver da pesquisa, no entanto, já é notável uma distinção de interesses do aluno ora em assuntos de sala de aula, neste caso o artigo a ser escrito para segunda-feira, ora em assunto extra sala, neste caso o dever de entregar uma cópia de seu diploma de graduação à secretaria, como é mostrado a seguir.

“Um aluno recém-admitido no PPGC da UFRGS acaba de instalar o sistema adaptativo de apoio acadêmico em seu smartphone, através da localização do roteador que o aluno está conectado ao sistema identifica que o mesmo está no INF, sabendo disso o sistema solicita o perfil pessoal e acadêmico do aluno ao servidor da UFRGS (Portal do Aluno) e identifica que ele está matriculado em três disciplinas, sendo uma delas a de sistemas distribuídos, após isso vê que o professor desta disciplina passou como trabalho a escrita de um artigo a ser entregue na segunda feira e como o aluno está matriculado nesta disciplina o sistema então deduz que consequentemente o aluno tem um artigo a ser entregue para segunda feira. Após adquirir o perfil pessoal e acadêmico o sistema solicita informações administrativas para o respectivo perfil do aluno e descobre que o aluno deve entregar uma cópia de seu diploma de graduação à secretaria, assim o sistema emite uma mensagem de alerta de documentos pendentes. Após ler os alertas do sistema, o aluno se interessa em saber quais serviços ele tem disponíveis no INF, assim ele seleciona a opção de serviços e são exibidos, em um mapa de sua localização aproximada, a secretaria do PPGC, a biblioteca, o Dacomp, o restaurante mais próximo ao Instituto de Informática e os auditórios.”

Após elaborar os cenários, foi capturada a ontologia referente ao primeiro, pois como já dito anteriormente o segundo cenário ainda está em fase de desenvolvimento, a seguir é mostrada a metodologia utilizada para captura da ontologia.

3.2 Metodologia

Como dito anteriormente, o elemento de contexto primordial considerado no trabalho é a localização sendo esta entendida como a posição de alguma entidade no espaço. No trabalho de Frank [10] é proposta uma discussão dos níveis semânticos de modelos de contexto espaciais, ou seja, aqueles onde o espaço é o elemento de contexto primordial, para isso ele divide as ontologias espaciais em cinco camadas semânticas, como mostrado a seguir:

- Camada 0: é a ontologia da realidade física. Baseada na suposição de que existe exatamente um mundo real, por este motivo, para cada propriedade do mundo e para um dado ponto no espaço e no tempo existe um único valor.
- Camada 1: inclui observações da realidade e é a primeira camada acessível por modelos de contexto. Nesta camada um valor pode ser derivado em uma localização com um dado tipo de observação. O tipo determina a escala de valores (ex.: nominal

ou racional) e a unidade de medida (ex.: metros ou segundos). Os modelos de contexto baseados em fatos geralmente estão situados nesta camada.

- Camada 2: observações únicas, são agrupadas a objetos individuais, assim, o valor de uma observação irá determinar o estado de um objeto. O autor, considera nesta camada apenas objetos físicos, ou seja, “coisas que existem no mundo físico e podem ser observadas por métodos de observação”. Nesta camada são cobertos dados que podem ser vistos como realidade objetivos, ou seja, se esses dados forem enviados a um grupo de geógrafos ou estudantes para modelar objetos físicos, eles chegarão a um consenso. Uma vantagem desse tipo de informação é que ele pode ser facilmente compartilhado entre diferentes aplicações cientes de contexto.
- Camada 3: a realidade socialmente construída é representada. Realidade social inclui todos os objetos e relações que são criados por interações sociais. Essas propriedades são classificadas e nomeadas dentro do contexto de regras administrativas, legais ou institucionais. Nesta camada os objetos recebem nomes, já que estes são atribuídos por cultura.
- Camada 4: as regras usadas por agentes cognitivos para dedução são modeladas. Modelos de contexto baseados em ontologias normalmente cobrem todas as camadas, até este nível.

De posse de tal conhecimento, tornou-se interessante, antes da captura da ontologia, identificar no cenário desenvolvido os níveis semânticos propostos por Frank, pois assim é possível validar se o cenário tem relevância semântica suficiente para o modelo ontológico.

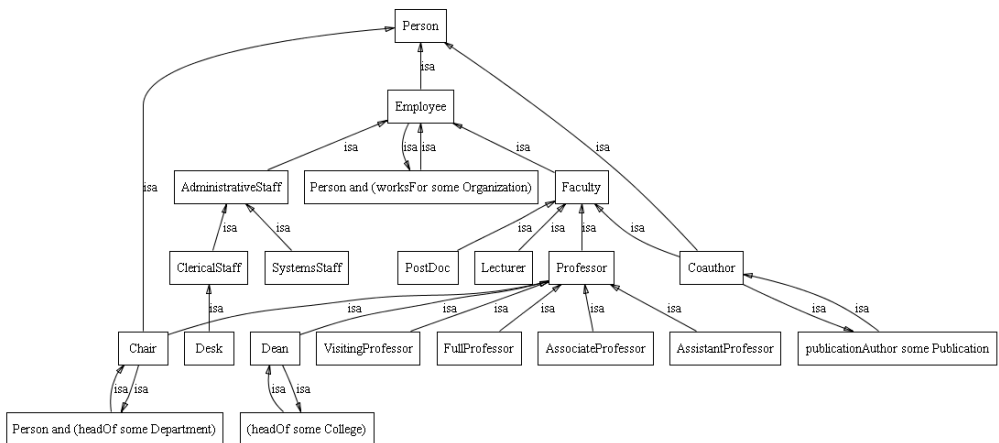


Figura 4. Classe Employee e suas subclasses

Após identificados os níveis semânticos foi realizada uma busca por uma ontologia já existente que modelasse o cenário proposto em sua totalidade, como não foi encontrada tal ontologia, foi realizada uma busca por algo mais genérico, neste caso, a ontologia de

domínio de uma universidade, que posteriormente foi enriquecida para atender os detalhes do cenário não presentes na ontologia original.

A ontologia escolhida foi a Lehigh University Benchmark (LUBM), proposta no trabalho de Guo [11] ela está escrita em OWL Lite e foi capturada com o intuito principal de realizar testes de benchmark em sistemas de conhecimento, esta porém tem uma boa representação da estrutura hierárquica e das propriedades de uma universidade e uma boa aceitação por parte da comunidade científica.

Após escolhida a ontologia foram elucidados os conceitos presentes no cenário e ausentes na mesma e com o auxílio da UFO os conceitos encontrados foram mapeados para construtos da UFO-A, já que a maioria dos conceitos presentes no cenário são de natureza continuante, e posteriormente com o auxílio do software Protegé a ontologia LUBM foi enriquecida, a figura 4 mostra a classe Employee, uma das classes da ontologia, que é subclasse de Pessoa e modela os empregados da universidade e seus relacionamentos.

Na tabela 1 é mostrado o relacionamento entre o cenário, as camadas semânticas de Frank e os construtos da UFO-A, note que alguns trechos do cenário não puderam ser mapeados para as camadas semânticas de Frank, pois caracterizavam simples respostas de software ou eram apenas informações complementares, assim como a camada zero não teve nenhum trecho mapeado para si, pois como dito no trabalho de Frank, os modelos de contexto conseguem acessar a partir da camada 1.

Tabela 1. Mapeamento entre camadas semânticas de Frank, cenário e UFO-A

Camadas	Trechos do Cenário	Construtos UFO-A
0	<Não possui trecho associado>	<Não possui construtos>
1	O professor John está visitando a UFRGS em convite do grupo de sistemas de informação, assim que chegou à universidade ele conectou seu smartphone à rede do INF e acessou o sistema adaptativo de apoio acadêmico, que reconheceu sua localização aproximada através do roteador em que ele está conectado	•Professor: role •Grupo de S.I.: collective •Universidade: category •Smartphone: subkind •Sistema: kind •Roteador: kind
2	e após identificá-lo, através de suas credenciais presentes no telefone, verificou que a sala 213 do prédio 43424 estava disponível O sistema então enviou uma mensagem ao professor João avisando-o da presença do professor John e informando sua localização, o sistema também alertou a secretaria do instituto de sua presença na universidade.	•Telefone: kind •Sala: category •Localização: intrinsic moment •Secretaria: role mixin •Instituto: kind •Secretaria do instituto: role
3	Após receber a mensagem de que o professor John está no INF, a	•Secretária: role •Notificação: relator

	secretária envia uma notificação dizendo que ele deve passar na secretaria para receber um cheque que cobrirá suas despesas de viagem, junto com a notificação é enviada a localização da secretaria. O professor então recebe outra notificação do sistema avisando que sua palestra foi transferida do auditório azul para o auditório do prédio 67 devido a quantidade de pessoas que registraram interesse e que está confirmado o horário da palestra às 15:30.	moment •Cheque: kind •Despesa de viagem: relator moment •Auditório: role
4	Após isso o sistema realizou uma busca na base da DBLP e do Google Acadêmico e identificou que o professor João é um dos coautores do professor John. Próximo ao horário do almoço o sistema envia uma mensagem ao professor John exibindo a localização dos restaurantes do campus com as respectivas avaliações dadas por outros usuários. Após a palestra, já próximo do horário de fim de expediente, ele recebe alguns telefones de taxis disponíveis próximos a sua localização, bem como o valor estimado de uma corrida de sua localização atual até o hotel onde está hospedado.	•Coautor: role •Restaurante: kind •Campus: role •Avaliação: Intrinsic Moment •Usuário: role

4 Conclusão

O aumento da quantidade de informações disponíveis e a integração de tecnologias têm impulsionado a evolução dos sistemas de software, por este motivo sistemas adaptativos tornam-se a cada dia mais essenciais. Um dos tipos de sistemas adaptativos mais comuns são os sistemas cientes de contexto que lançam mão de ontologias para modelar o contexto. Neste trabalho são propostos dois modelos ontológicos de contexto, um para um aluno de pós graduação e outro para um professor convidado em uma universidade. A principal diferença desses modelos é que os mesmos têm como elemento de contexto primordial a localização e modelam o estudante em dois comportamentos distintos que ora está

interessado em assuntos de sala de aula, ora está interessado em assuntos extra classe. Para validar esses modelos será construído um sistema para dispositivos móveis de plataforma Android. Uma das vantagens na utilização desse sistema é o aumento da comunicação entre a comunidade científica presente em uma determinada universidade. No futuro, esses modelos de contexto podem ser enriquecidos para sugerir colaboração entre pesquisadores de áreas similares presentes em um mesmo local.

Referências

- [1] B. C. Cheng, R. Lemos, H. Giese, P. Inverardi, J. Magee, J. Andersson, B. Becker, N. Bencomo, Y. Brun, B. Cukic, G. Marzo Serugendo, S. Dustdar, A. Finkelstein, C. Gacek, K. Geihs, V. Grassi, G. Karsai, H. Kienle, J. Kramer, M. Litoiu, S. Malek, R. Mirandola, H. Müller, S. Park, M. Shaw, M. Tichy, M. Tivoli, D. Weyns, and J. Whittle, “Software Engineering for Self-Adaptive Systems: A Research Roadmap,” in *Software Engineering for Self-Adaptive Systems SE - 1*, vol. 5525, B. C. Cheng, R. Lemos, H. Giese, P. Inverardi, and J. Magee, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 1–26.
- [2] P. Brusilovsky and E. Millán, “User Models for Adaptive Hypermedia and Adaptive Educational Systems,” in *The Adaptive Web Methods and Strategies of Web Personalization*, P. Brusilovsky, A. Kobsa, and W. Nejdl, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2007, pp. 3–53.
- [3] C. Bettini, O. Brdiczka, K. Henriksen, J. Indulska, D. Nicklas, A. Ranganathan, and D. Riboni, “A survey of context modelling and reasoning techniques,” *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 6, no. 2, pp. 161–180, Apr. 2010.
- [4] A. K. Dey, “Understanding and Using Context,” *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 5, no. 1, pp. 4–7, Feb. 2001.
- [5] T. R. Gruber, “A Translation Approach to Portable Ontology Specifications,” vol. 5, no. April, pp. 199–220, 1993.
- [6] G. Guizzardi, “Ontological foundations for structural conceptual models,” University of Twente, Enschede, 2005.
- [7] A. M. Pernas, A. Diaz, R. Motz, and J. P. M. de Oliveira, “Enriching adaptation in e-learning systems through a situation-aware ontology network,” *Interactive Technology and Smart Education*, vol. 9, no. 2, pp. 60–73, Aug. 2012.
- [8] L. Silva, F. Neto, L. Júnior, and R. Carvalho Muniz, “Recommendation of Learning Objects in an Ubiquitous Learning Environment through an Agent-Based Approach,” in *Virtual and Networked Organizations, Emergent Technologies and Tools SE - 11*,

- vol. 248, G. Putnik and M. Cruz-Cunha, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 101–110.
- [9] K. Al-Mekhlafi, X. Hu, and Z. Zheng, “An Approach to Context-Aware Mobile Chinese Language Learning for Foreign Students,” *Mobile Business, 2009. ICMB 2009. Eighth International Conference on*, pp. 340–346, 2009.
- [10] A. Frank, “Chapter 2: Ontology for Spatio-temporal Databases,” in *Spatio-Temporal Databases SE - 2*, vol. 2520, T. Sellis, M. Koubarakis, A. Frank, S. Grumbach, R. Güting, C. Jensen, N. Lorentzos, Y. Manolopoulos, E. Nardelli, B. Pernici, B. Theodoulidis, N. Tryfona, H.-J. Schek, and M. Scholl, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2003, pp. 9–77.
- [11] Y. Guo, Z. Pan, and J. Heflin, “LUBM: A benchmark for OWL knowledge base systems,” *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, vol. 3, no. 2–3, pp. 158–182, Oct. 2005.