
Uma Arquitetura de Assistente Pessoal Orientada a Ambientes de Aprendizagem Ubíqua¹

Rodrigo Machado Hahn, Jorge Luis Victória Barbosa

Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PIPCA)
Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)
São Leopoldo – RS – Brasil

rodrigo.rmh@gmail.com, jbarbosa@unisinis.br

Abstract. *This paper presents an agent-driven model for the personalization of the learner's experiences in ubiquitous learning systems. Ubiquitous learning spaces are organized into Interactive Contexts, which are abstract representations of physical contexts. This approach is directed to ubiquitous learning environments. It was tested through its integration with a specific environment called LOCAL. We built an instance of the proposed agent and validated it through specific tests which show its real-life efficiency.*

Resumo. *Este trabalho apresenta um modelo baseado em agentes para personalizar a experiência pedagógica dos aprendizes em sistemas de educação ubíqua. Os espaços de aprendizagem ubíqua são organizados na forma de Contextos Interativos, que são representações abstratas de contextos físicos. Essa proposta é direcionada a ambientes de aprendizagem ubíqua de forma genérica, porém foi testada com um ambiente específico chamado LOCAL. Uma instância do agente foi gerada e testes comprovam sua eficácia.*

1. Introdução

Atualmente, os estudos sobre mobilidade em sistemas distribuídos vêm sendo impulsionados pela proliferação de dispositivos eletrônicos portáteis e pela exploração de novas tecnologias de comunicação sem fio. Este novo paradigma distribuído e móvel é denominado *Computação Móvel* [Satyanarayanan 1996]. A mobilidade, aliada à difusão da comunicação sem fio, permitiu que serviços computacionais fossem disponibilizados em contextos específicos (*Consciência de Contexto* [Dey et al 1999]). O acréscimo de pesquisas relacionadas com a adaptação trouxe a possibilidade de suporte computacional contínuo, a qualquer momento e em qualquer lugar (*Computação Ubíqua* [Weiser 1999]).

Recentemente, a aplicação das tecnologias de computação ubíqua nas estratégias de educação fez surgir uma nova frente de pesquisa chamada *Educação Ubíqua* [Barbosa et al. 2008]. O suporte ubíquo possibilita personalizar a aprendizagem, utilizando informações obtidas a partir do contexto do aprendiz, e explorando oportunidades pedagógicas a qualquer hora, em qualquer lugar. Em vista disso, este

¹ Este trabalho recebeu apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil (Edital 15/2007 – Universal).

trabalho propõe uma arquitetura de assistente pessoal modelado como um agente capaz de explorar automaticamente ambientes de educação ubíqua, com especial cuidado para a detecção e transição de ambientes. O agente foi testado através da sua integração com um ambiente de suporte à educação ubíqua voltado para espaços de aprendizagem em pequena-escala, chamado LOCAL (*Location and Context Aware Learning*) [Barbosa et al. 2006][Barbosa et al. 2008]. O LOCAL possui subsistemas de localização, perfis e objetos de aprendizagem que serão empregados neste trabalho. O texto está organizado em cinco seções. A **seção 2** apresenta a arquitetura proposta. A **seção 3** traz detalhes sobre a implementação do protótipo e sua avaliação. A **seção 4** traz trabalhos relacionados. Por fim, a **seção 5** discute conclusões e trabalhos futuros.

2. Arquitetura Proposta

Os espaços de aprendizagem ubíqua são organizados na forma de *Contextos Interativos* (representações abstratas de contextos físicos) definidos pela presença de três componentes básicos: 1) *Agentes Assistentes*, que acompanham e representam os aprendizes no sistema; 2) *Gerenciador de Contexto*, que delimita e gerencia o Contexto Interativo; 3) *Proxy de Comunicação*, que possibilita a comunicação entre os agentes, e entre estes e o Gerenciador de Contexto. A **Figura 1** mostra uma representação do contexto interativo. Os agentes assistentes se deslocam livremente através dos contextos interativos, auxiliados por um sistema de localização. Durante esse deslocamento, os aprendizes interagem entre si e recebem recomendações de objetos de aprendizagem personalizados. O *proxy* de comunicação serve como canal de comunicação entre os elementos do modelo.



Figura 1. Contexto Interativo

2.1. Agente Assistente

O **agente assistente** representa o aprendiz na arquitetura. Ele acompanha a mobilidade do aprendiz, buscando informações que descrevam o contexto físico no qual está inserido. O objetivo do agente é mapeado para a busca contínua de oportunidades pedagógicas, de modo a enriquecer a experiência dos aprendizes. O agente assistente é um agente baseado em modelo, conforme a definição de Russel & Norvig (2003). Este tipo de agente possui estado interno, e através da análise das diferenças entre o estado atual e o anterior, é capaz de perceber eventos e agir sobre eles de maneira racional. O estado interno é derivado do perfil do aprendiz e de informações provenientes do contexto interativo.

Os dados dos perfis são armazenados internamente. Isso possibilita o transporte dos dados para diversos ambientes, e ajuda a tornar o modelo mais robusto, capaz de lidar com um número crescente de dispositivos/contextos interativos. Uma lista das

categorias e itens individuais dos perfis pode ser vista na **Tabela 1**. Os perfis seguem o padrão PAPI (*Public and Private Information for Learners*) [PAPI 2008]. Esta escolha foi feita com base na **extensibilidade** proporcionada pelos elementos *bucket* na **modularidade** (divisão lógica das informações em categorias) e na **facilidade** de integração do PAPI com outros sistemas. As informações são divididas em dois tipos, segundo sua visibilidade: dados **públicos** (informações de controle e administração dos perfis) e **privados** (referentes ao processo pedagógico). Quando o agente comunica os dados do aprendiz para o contexto, somente os dados públicos são comunicados. O agente verifica continuamente sua localização atual. As informações obtidas são utilizadas na descoberta de novos contextos interativos.

Tabela 1. Descrição dos dados do perfil

Categoria	Acesso	Elementos
<i>Contact</i>	Público	my_contact_identifier_list, contact_hid_list, name_list, telephone_list, email_contact_list, contact_bucket
<i>Relations</i>	Privado	my_relations_identifier_list, relations_hid_list, relationship_list, relations_bucket
<i>Preferences</i>	Público	my_preference_identifier, preference_hid, preference_name, pre_include_preference_list, post_include_preference_list, cognitive_preference_list, preference_bucket
<i>Performance</i>	Público	my_performance_identifier_list, performance_hid_list, recording_date_time, issue_from_identifier, competency_identifier, performance_metric, performance_value, certificate_list, performance_bucket
<i>Security</i>	Privado	my_security_identifier_list, security_hid_list, credential_list, security_bucket
<i>Portfolio</i>	Privado	my_portfolio_identifier_list, portfolio_hid_list, media_id_kind, media_id, media_lom_list, media_papi_learner_performance_list, certificate_list, portfolio_bucket

2.2. Gerenciador de Contexto

Cada contexto interativo é gerenciado por um módulo chamado **gerenciador de contexto**, que delimita o contexto interativo e representa o ambiente. Ele é responsável por coordenar o ingresso dos agentes no contexto. Quando o agente ingressa em um contexto ele recebe **informações contextuais** que o descrevem (conforme a **Tabela 2**).

Tabela 2. Informações Contextuais

Elemento	Descrição
Context_HID	Identificador único do contexto interativo
SSID_HID	<i>Service set identifier</i> , nome da rede sem fio presente no contexto interativo
Name	Nome amigável para o contexto interativo
Description	Descrição livre do contexto interativo, resumo das atividades conduzidas
Keywords_list	Lista de palavras-chave que descrevam recursos ou atividades presentes no ambiente
Learning_objects_list	Objetos de aprendizagem disponíveis, seguindo o padrão do LOCAL, baseado no LOM (2000)
User_agents_list	Parte pública dos perfis dos aprendizes, fornecida pelos agentes

As informações de localização e objetos de aprendizagem são disponibilizadas pelo LOCAL. A comunicação entre os elementos do sistema ocorre através do *Proxy* de Comunicação (descrito na **seção 2.3**). Os objetos de aprendizagem são fornecidos pelo sistema de objetos de aprendizagem do LOCAL, e implementam a norma LTSC LOM (2000). A ampla aceitação desse padrão pode ser conferida em trabalhos como [Rigaux e Spyrtatos 2008] e [Tarouco et al. 2008].

2.3. Proxy de Comunicação

O *Proxy de Comunicação* é responsável por disponibilizar um canal de comunicação para os agentes. Quaisquer agentes presentes em um determinado contexto utilizam o *proxy* de comunicação daquele contexto específico, seja para se comunicar com outros

agentes ou com o contexto em si. Conforme se desloca no ambiente, o agente comunica-se com o contexto interativo, buscando informações que reportem seu estado atual. Para comunicar-se, o remetente (agente ou contexto) contata o *proxy* de comunicação através de mensagens no padrão FIPA-ACL [FIPA 2002]. Três tipos de ação comunicativa (*performative*) foram definidos, de modo a suportar três tipos de mensagens: 1) **pf_updateprofile** (propaga alterações no perfil público do usuário); 2) **pf_updatecontext** (possibilita atualização das informações contextuais); 3) **pf_comm** (suporta a troca de mensagens entre os agentes).

2.4. Interação entre Agente e Contexto

O agente está inserido em um ambiente dinâmico, que é continuamente monitorado. Dois tipos de eventos são gerados quando o agente percebe modificações no ambiente: 1) **descoberta** de novo contexto interativo, e conseqüente **ingresso** nesse contexto; 2) **atualização** dos dados que descrevem o contexto atual. Conforme se desloca pelo ambiente, o agente recebe informações que descrevem os contextos interativos. Isso permite ao agente perceber quando cruzou o limite de um determinado contexto. Assim, novos contextos podem ser **descobertos**. Ao adentrar um novo contexto, o agente inicia o processo de **ingresso** (representado na **Figura 2**), onde ele: **1)** obtém o nome do contexto recém descoberto (através do sistema de localização); **2)** envia ao gerenciador do novo contexto os dados que constituem a parte pública de seu perfil (tornando-os disponíveis para quaisquer agentes que já estejam no contexto); **3)** recebe informações que descrevem o contexto interativo no qual acaba de ingressar. O processo é executado de maneira totalmente autônoma. A partir de então, o agente passa a ser informado de modificações na configuração do contexto (o que torna possível inferir, por exemplo, o ingresso ou a saída de outros agentes e a disponibilidade de objetos de aprendizagem relevantes). O agente utiliza as informações recebidas durante o processo de detecção contextual para dois fins: 1) calcular o **grau de similaridade** entre dois aprendizes; 2) calcular o **grau de relevância** dos objetos de aprendizagem recebidos para o aprendiz. Ambos os graus são calculados com base na correspondência entre os termos-chave que descrevem objetos de aprendizagem [Barbosa et al 2008] e áreas de interesse declaradas no perfil.



Figura 2. Ingresso em contexto interativo

O índice de semelhança entre perfis é dado pela correspondência de termos entre os assuntos de interesse de dois aprendizes quaisquer. Para cada correspondência verificada, $100/X\%$ (onde X é o número de assuntos de interesse do aprendiz) são acrescidos ao índice de semelhança. O índice de relevância de objetos de aprendizagem é calculado com base na equivalência entre as categorias de interesse de um aprendiz e as palavras-chave associadas a um objeto de aprendizagem. Novamente, para cada

correspondência encontrada, $100/X\%$ são acrescidos a este índice (onde X é o número de termos associados ao objeto). Em ambos os casos, o valor máximo é de 100% (o que significa uma correspondência direta de todos os itens comparados). O processo de cálculo dos índices é automático, e serve como estímulo à interação entre aprendizes com interesses similares e à busca de objetos disponibilizados pelo contexto.

3. Protótipo e Avaliação

3.1. Implementação

Um protótipo da arquitetura proposta foi criado e está em funcionamento no laboratório de computação móvel de uma grande universidade do sul do Brasil. A infraestrutura de rede sem fio utilizada nos testes pode ser vista na **Figura 3a**. Os contextos interativos são abstraídos para ambientes delimitados em torno dos pontos de acesso sem fio indicados na figura. Cada contexto interativo é delimitado em torno de um ou mais pontos de acesso. Em contrapartida, cada ponto de acesso pertence a um único contexto.

O agente funciona acoplado à infraestrutura oferecida pelo LOCAL (**Figura 3b**), utilizando os serviços de *localização* e *comunicação*. O agente detecta as potências dos pontos de acesso, e a localização se dá através da triangulação do sinal das antenas sem fio [Rolim, Sonntag & Barbosa 2007].

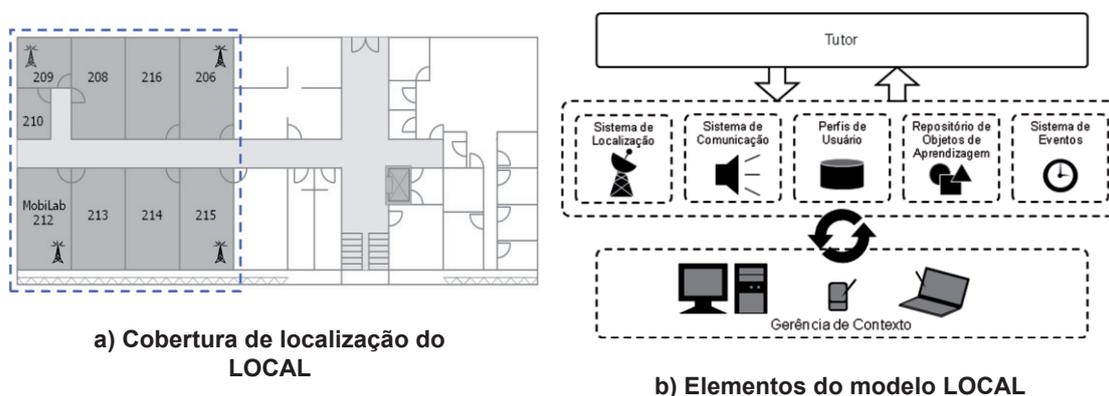
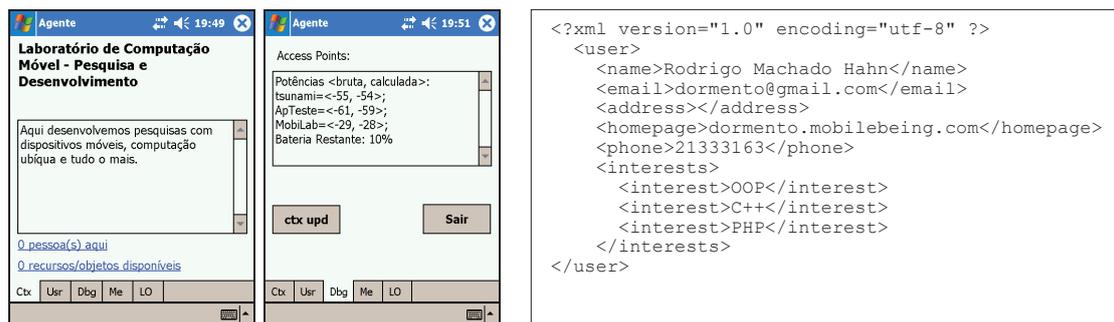


Figura 3. Cobertura de localização e Integração com o LOCAL

O agente foi implementado em *C#*, usando o *.NET Compact Framework*. A versão móvel do *framework* implementa um subconjunto das funcionalidades disponíveis na versão para PC. Uma interface gráfica (**Figura 4a**) foi acoplada ao protótipo, a fim de monitorar os resultados da interação entre os agentes e o contexto. A interface permite a visualização parcial dos dados que compõem o estado interno do agente: potências dos pontos de acesso; perfil do aprendiz (com capacidade de edição das categorias de contato e interesses); autonomia (bateria); lista de aprendizes no mesmo contexto; grau de similaridade com estes aprendizes; objetos de aprendizagem disponíveis; grau de relevância dos objetos. A interface também possibilita ver as mudanças de contexto em tempo real. Os perfis de usuário são armazenados em XML. A **Figura 4b** mostra um exemplo de perfil de usuário (simplificado por clareza).



a) Telas da interface do agente

b) perfil de usuário serializado em XML

Figura 4. Telas do agente e perfil de usuário (simplificado)

O *Proxy* de comunicação foi implementado como uma estrutura baseada em *blackboard* [Nii 1986], associada ao contexto interativo. Neste caso, o papel dos *knowledge sources* é desempenhado tanto pelos agentes quanto pelo contexto interativo. Todas as interações ocorrem no nível contextual (todos os membros pertencentes a um contexto comunicam-se exclusivamente através do *blackboard* presente dentro desse contexto). Tanto o gerenciador quanto os agentes que estão no contexto podem acessar o *blackboard* para leitura ou escrita.

3.2. Avaliação do Modelo

Três métodos de avaliação foram empregados para avaliação do modelo proposto. Nos testes, foram empregados *Pocket PCs* da HP, modelo *iPAQ hx4700* (para os clientes) e um PC Athlon 2200+, com 1GB RAM, executando o *Windows XP Professional* (que atuou como servidor de aplicações). A infraestrutura de rede era composta de pontos de acesso sem fio Cisco Aironet.

O **primeiro teste** simulou a utilização de um ambiente de educação ubíqua baseado no modelo proposto. O ambiente simulado foi uma biblioteca, composta de duas salas (dois contextos interativos). Os contextos físicos correspondentes a estes ambientes foram previamente mapeados para as salas 209 e 213, conforme dispostas na **Figura 3a**. Os livros presentes em cada contexto da biblioteca são mapeados para objetos de aprendizagem. O agente desenvolvido foi instalado em cinco *pocket PCs* simulando cinco usuários do sistema. O teste simulou aprendizes saindo em busca de material de suporte para resolver um exercício relacionado a uma disciplina do mestrado em informática. A **Figura 5** mostra a seqüência de etapas da simulação.

A simulação ocorre em três momentos distintos. No **Primeiro momento**, dois alunos (**A** e **B**) chegam ao recinto da biblioteca. O aluno **A**, além do trabalho da disciplina de Visualização de Dados, possui uma tarefa da disciplina de Lógica. O contexto interativo disponibiliza diversos materiais, inclusive os da disciplina de Visualização de Dados. Os alunos recebem material relacionado a seus interesses. Em um **segundo momento**, três novos alunos (**C**, **D** e **E**) chegam à biblioteca. Eles entram na mesma sala onde estão **A** e **B** e começam a busca de material sobre Visualização de Dados. Estes aprendizes também recebem o material relacionado à disciplina, que o contexto disponibiliza. Os alunos **C**, **D** e **E** discutem sobre o material recomendado, escolhendo aquele que será utilizado para a resolução do exercício. Além disso, os

alunos recém chegados percebem que o aluno A tem interesse em material de apoio sobre a disciplina de Lógica. O aluno C possui interesse particular sobre o mesmo material. No **terceiro momento**, o aluno C procura o aluno A, e ambos discutem sobre a tarefa de Lógica. Eles decidem ir para outra sala da biblioteca, que contém material diretamente relacionado à disciplina de Lógica. Enquanto isso, o contexto interativo continua recomendando objetos de aprendizagem contextualizados. O aluno A recomenda diretamente para o aluno C um livro conhecido sobre o assunto. O aluno C visualiza o índice de relevância deste material, que aparenta ser altamente relevante. Ambos analisam o material, e discutem a possibilidade da realização da tarefa com o material recomendado.

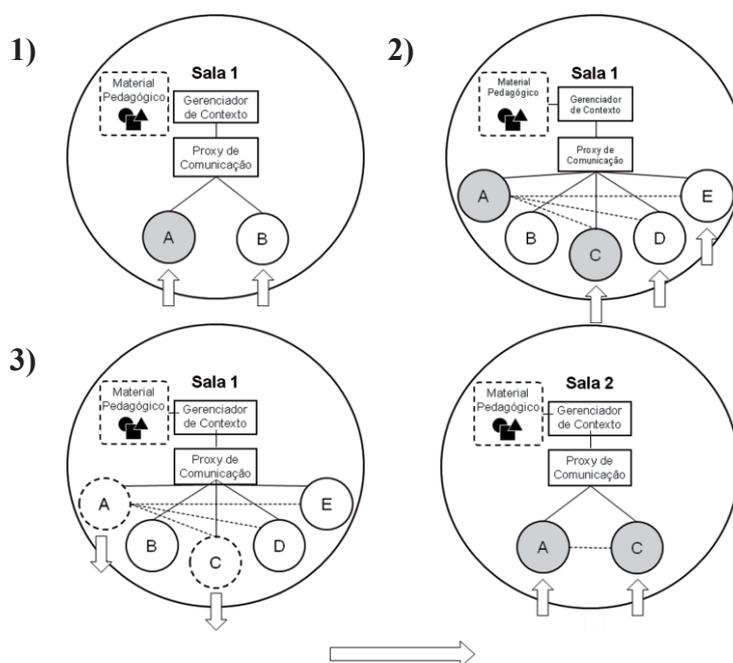


Figura 5 Simulação

A simulação demonstrou um ambiente de educação ubíqua com dois contextos interativos, detecção e ingresso em um novo contexto e o estímulo à interação proporcionado pelo modelo. Através dessa simulação pode-se perceber benefícios relacionados à aplicação do modelo em ambientes de educação ubíqua: 1) todos os alunos se beneficiaram, seja pelas recomendações diretas de material pedagógico, seja pelo estímulo à interação com outros aprendizes; 2) a utilização do sistema de recomendação e o cálculo de relevância ajudaram a minimizar a busca redundante de material – os alunos puderam discutir e trocar experiências em relação ao material das disciplinas.

Um **segundo teste** foi conduzido, de modo a avaliar os aspectos de usabilidade e adequação tecnológica do protótipo. O teste teve 11 voluntários participantes, pertencentes a diferentes áreas de atuação, e a dinâmica foi a seguinte: 1) três contextos interativos foram criados em torno das salas 212, 209 e 215, conforme mapeamento visível na **Figura 3a**, e foram disponibilizados objetos de aprendizagem nesses contextos; 2) foram distribuídos *pocket PCs* para os participantes, todos portando o agente; 3) enquanto os voluntários familiarizavam-se com o dispositivo, a dinâmica da

avaliação foi explicada em detalhes; 4) os voluntários preencheram seus perfis, escolhendo categorias de interesse; 5) os voluntários foram encorajados a analisar as inferências realizadas pelo agente (similaridade entre usuários e relevância dos objetos de aprendizagem); 6) os voluntários foram estimulados a se deslocar pelos contextos mapeados, de modo a perceberem (e provocarem) mudanças na configuração do mesmo (ingresso de outros agentes e recomendação de objetos); 7) ao fim do teste, um questionário contendo oito questões relacionadas foi entregue aos participantes. A **Tabela 3** apresenta este questionário.

Cabe mencionar que o conjunto de interesses empregado no teste foi amplo, porém superficial (contendo categorias como “história”, “TV” e “literatura”). Isso foi feito de modo a garantir a identificação dos voluntários com os objetos de aprendizagem disponibilizados. Uma aplicação real utilizaria um conjunto mais específico de áreas do conhecimento para representar esses interesses, como o ACM CCS [ACM 1998].

Tabela 3. Questões do teste com usuários

Número	Qual é a sua impressão sobre...
1	...a apresentação de diferentes recursos pedagógicos de acordo com os diferentes locais de acesso?
2	...a determinação da relevância do material pedagógico disponível em relação ao seu perfil?
3	...a determinação da compatibilidade entre o seu perfil e o de outros aprendizes?
4	...o uso do sistema para determinar a sua localização?
5	...a precisão aparente do método de localização utilizado?
6	...a utilização de dados dos perfis de usuário para personalizar o seu processo de aprendizagem?
7	...o estímulo à interação entre aprendizes, proporcionado pelo cálculo do grau de compatibilidade?
8	...a perspectiva do uso de um assistente pedagógico baseado neste trabalho em sala de aula?

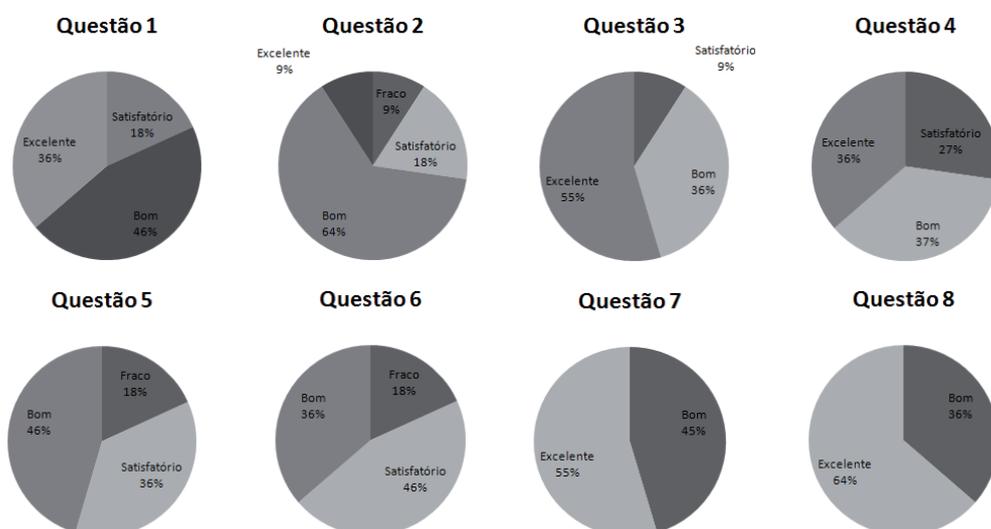


Figura 6 Resultados do teste com usuários

As questões apresentadas podem ser divididas em dois grupos: questões relacionadas à percepção dos aspectos tecnológicos pelos voluntários (1 a 4) e questões relacionadas à usabilidade do agente (5 a 8). Todas as questões foram respondidas marcando uma dentre cinco alternativas (*Muito Fraco*, *Fraco*, *Satisfatório*, *Bom* e *Excelente*). Nenhuma questão foi deixada em branco. Um dos voluntários comentou que

“seria interessante se a interface do agente ordenasse os objetos de aprendizagem (recebidos do contexto interativo) por ordem de relevância”. Outro voluntário comentou que a exibição do grau de similaridade é interessante, pois “serve para aproximar as pessoas”. A **Figura 6** mostra os resultados do teste. Os aspectos tecnológicos são analisados nos 4 primeiros gráficos. Como pode ser visto, a avaliação dos voluntários foi geralmente favorável. A apresentação de recursos pedagógicos contextualizados e a determinação dos índices de relevância e similaridade foram recursos bem recebidos.

Quanto às questões de usabilidade, uma das críticas feitas pelos voluntários foi em relação à precisão do método de localização empregado nos testes. As avaliações das outras questões foram bastante favoráveis ao modelo, sobretudo nas questões 7 e 8 (com respectivamente 55% e 64% de avaliações excelentes). Com base nas respostas obtidas, percebe-se que o agente teve boa recepção por parte dos voluntários.

4. Trabalhos Relacionados

Diversos projetos [Rogers et al. 2005][Yau et al. 2003] abordam a utilização de tecnologias de localização. Isso possibilita explorar automaticamente recursos oferecidos pelo ambiente. No entanto, os projetos citados não contemplam a questão dos perfis de usuário. O modelo proposto também emprega localização, porém difere dos anteriores por incluir perfis de usuário, utilizados na personalização das informações obtidas do ambiente.

Outro projeto importante nesta área é o Japelas [Ogata e Yano 2003]. O projeto consiste em um sistema de apoio ao ensino de expressões de tratamento no idioma japonês, baseado em dispositivos móveis. O sistema suporta um caso específico de aprendizagem ubíqua em um cenário particular (idioma japonês), enquanto que o modelo proposto possibilita a criação de espaços de aprendizagem voltados a qualquer tema. Isso é possível através do suporte a objetos de aprendizagem e perfis de usuário.

5. Considerações Finais

O modelo propõe a organização de espaços de aprendizagem em contextos interativos, populados por agentes assistentes. O modelo provê as estruturas básicas necessárias para dar suporte à recomendação de objetos de aprendizagem e ao estímulo à interação entre aprendizes. Dessa forma, pode-se dizer que o modelo contribui na personalização dos processos pedagógicos individuais (através da recomendação de recursos contextualizados e relevantes) e em grupo (através do estímulo livre à interação, proporcionado pela análise de similaridade). A principal contribuição do modelo proposto é a organização dos espaços de aprendizagem ubíqua, onde os agentes têm papel de destaque. Testes foram realizados, comprovando a eficácia desta proposta.

A possibilidade de representação de contextos delimitados por redes *ad hoc* está sendo analisada. Isso exigirá um sistema de localização mais robusto, porém trará possibilidades interessantes ao modelo, dotando de mobilidade o contexto em si. Outra melhoria em potencial é a organização hierárquica de contextos interativos, que trará a possibilidade de comunicação entre agentes que estão em diferentes contextos. Finalmente, a criação de um protótipo do sistema em telefones celulares permitirá explorar localização via GPS e estabelecer contextos interativos em larga escala.

6. Referências

- ACM. ACM Computing Classification System. 1998. Disponível em www.acm.org/class/ (Agosto de 2008).
- A.K. Dey et al. Towards a better understanding of context and context-awareness. In *Proceedings of the 1st International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, p. 304-307, Springer-Verlag, 1999.
- Barbosa, J.L.V. et al. Local: Um modelo para suporte a aprendizagem consciente de contexto. XVII Simposio Brasileiro de Informatica na Educação (SBIE), 2006.
- Barbosa, J.L.V; Hahn, R. M; Rabello, S. A; Barbosa, D. N. F. LOCAL: a Model Geared Towards Ubiquitous Learning. In: 39th ACM Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE), New York : ACM Press, 2008. p. 432-436.
- FIPA. ACL Message Structure Specification. 2002. Disponível em www.fipa.org/specs/fipa00061/. (Agosto de 2008).
- LTSC. Ieee learning technology standards committee (ltsc): Ieee p1484.12 learning object metadata working group (home page). 2000. Disponível em ltsc.ieee.org/wg12/ (Agosto de 2008).
- Nii, H. P. Blackboard systems: the blackboard model of problem solving and the evolution of blackboard architectures. *AI Magazine*, v. 7, p. 38–53, 1986.
- Ogata, H.; Yano, Y. How ubiquitous computing can support language learning. In: *Proceedings of KEST*. [S.l.: s.n.], 2003. p. 1–6.
- PAPI. Papi - draft standard for learning technology. 2002. Disponível em <http://jtc1sc36.org/doc/36N0179.pdf> (Agosto de 2008).
- Rigaux, P.; Spyratos, N. SeLeNe Report: Metadata Management and Learning Object Composition in a Self eLearning Network. 2008. Disponível em www.dcs.bbk.ac.uk/selene/ (Agosto de 2008).
- Rogers, Y. et al. Ubi-learning Integrates Indoor and Outdoor Experiences. *Communications of the ACM*, 48, 1, 55-59, 2005.
- Rolim, C.R; Sonntag, N.B; Barboosa, J.L.V. Um Modelo de Sistema de Localização Orientado a Ambientes Ubíquos. XXXIII Conferência Latino-americana de Informática (CLEI), 2007, San José. Anais do XXXIII CLEI, 2007. v. 1. p. 1-12.
- Russel, S. J.; Norvig, P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson Education, 2003. ISBN 0137903952.
- Satyanarayanan, M. Fundamental challenges in mobile computing. ACM Press, NY, USA, p. 1-7, 1996.
- Tarouco, L. M. R. et al. Cesta - coletânea de entidades de suporte ao uso de tecnologia na aprendizagem. Disponível em www.cinted.ufrgs.br/ (Agosto de 2008)
- Weiser, M. The computer for the 21st century. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, ACM Press, New York, NY, USA, v. 3, n. 3, p. 3–11, 1999.
- Yau, S. et al. Smart classroom: Enhancing collaborative learning using pervasive computing technology. In: *II American Society of Engineering Education*, 2003.