

Sensibilidade ao Contexto na Computação Ubíqua utilizando Web Semântica

Luthiano Venecian¹, Luiz A. M. Palazzo², Adenauer C. Yamin³

¹²³ Escola de Informática – Universidade Católica de Pelotas (UCPel)

Rua Félix da Cunha, 412 – 96010-000 – Pelotas – RS – Brasil

{ venecian@gmail.com, lpalazzo@ucpel.tche.br, adenauer@ucpel.tche.br }

Abstract. *The computing needs of context-sensitive mechanisms of representation of information in context to facilitate the processing of such information by infrastructure software. This paper proposes integrating the Semantic Web technologies in the development of applications sensitive to the context through modeling and deployment of ontologies as an extension to an infrastructure for managing information in context. That presented a model ontological OntContext and infrastructure services in Context kernel, while support for applications sensitive to the context.*

Resumo. *A computação sensível ao contexto necessita de mecanismos de representação de informações de contexto que facilitem o processamento dessas informações por infra-estruturas de software. Este trabalho propõe integrar tecnologias de Web Semântica no desenvolvimento de aplicações sensíveis ao contexto através da modelagem e implementação de ontologias como extensão a uma infra-estrutura de gerenciamento de informações de contexto. Para isso é apresentado um modelo ontológico OntContext e a infra-estrutura de serviços do Context kernel, enquanto suporte para as aplicações sensíveis ao contexto.*

1. Introdução

A computação ubíqua é um paradigma de interação usuário-computador em que a tecnologia é integrada de forma transparente a ambientes físicos para auxiliar pessoas na realização de suas tarefas diárias de forma contínua e onipresente (Weiser, 1991). Um tema de pesquisa abordado em computação ubíqua é a computação sensível ao contexto.

Aplicações sensíveis ao contexto utilizam informações de contexto para fornecerem serviços adaptados a pessoas na realização de alguma tarefa. Dey (2001) define contexto como qualquer informação relevante que possa ser utilizada para caracterizar entidades de uma interação usuário-computador, por exemplo, identidade e localização. Burrell (2002) apresentam um sistema que utiliza sensibilidade ao contexto para guiar turistas em um campus universitário ao monitorar sua localização e orientação.

Infra-estruturas de software para gerenciamento de informações de contexto necessitam, em geral, coletar uma grande e diversificada quantidade de informações de um ambiente de interação, analisar essas informações como variáveis independentes, ou combiná-las com outras informações do passado ou presente. Em seguida, infra-estruturas transmitem sua interpretação a aplicações sensíveis ao contexto que realizam alguma ação com base nessa análise. Todo esse processo deve ser repetido de forma automática, transparente e adaptada às mudanças nas informações de contexto do ambiente em questão.

A maioria das pesquisas em computação ubíqua explora a Web como meio de apresentação de

informações e de fornecimento de serviços. Entretanto, há uma lacuna no que diz respeito à integração desses trabalhos com esforços relacionados à Web Semântica (Berners-Lee, 2001), uma extensão da Web atual em que informações têm semântica agregada facilitando seu processamento computacional.

Este trabalho propõe integrar tecnologias de Web Semântica na construção de aplicações sensíveis ao contexto por meio da modelagem e implementação de ontologias para cada dimensão semântica como extensão à infra-estrutura Context Kernel. Ao utilizar ontologias na construção de aplicações sensíveis ao contexto, espera-se garantir a interoperabilidade semântica entre essas aplicações, objetivando facilitar o fornecimento de serviços adaptados às necessidades dos usuários com base na semântica do modelo de representação ontológico gerado.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2 as principais características da Computação Ubíqua; na Seção 3 são apresentados os aspectos em Computação Sensível ao Contexto; na Seção 4 há uma descrição das tecnologias de Web Semântica; na Seção 5 é descrito um modelo de informações contextuais, bem como é feito um estudo na plataforma Context Kernel e sua infra-estrutura de serviços; por fim no Capítulo 6 são apresentadas as considerações finais.

2. Principais características da Computação Ubíqua

A expressão Computação Ubíqua foi idealizada pelo pesquisador Mark Weiser (Weiser, 1991), quando vislumbrou a expansão do paradigma de interação tradicional entre usuárias e máquina – teclado, *mouse* e monitor – para uma abordagem que vai além do modelo humano de interação natural.

Para que os usuários pudessem usufruir de uma computação móvel ininterrupta e transparente foram descritas três características que se tornaram o pilar da Computação Ubíqua:

- **Interfaces naturais:** são interfaces de comunicação homem-máquina que reconhecem ou reproduzem as formas de comunicação comuns aos seres humanos. Por exemplo, um sistema que tenha reconhecimento de comandos de voz, face, emoção, ou então sistemas que reconheçam a escrita de uma caneta, o que é muito mais natural do que usar *mouses* ou teclados.
- **Captura automática de experiências reais:** permitir que eventos que ocorrem em nossa volta sejam armazenados por computadores, permitindo um acesso posterior, como uma forma de memória auxiliar das pessoas.
- **Aplicações sensíveis de contexto:** por fim, para que se consiga obter uma Computação Ubíqua, é preciso aplicações que adaptem seu comportamento baseando-se na informação adquirida do ambiente físico e computacional.

Desde que Weiser concebeu sua visão de ubiquidade, importantes evoluções no hardware tem sido obtidas, permitindo a criação de dispositivos menores e mais portáteis, sensores e dispositivos de controle com crescente poder de processamento e a padronização das tecnologias para comunicação sem fio. Com isso, estão sendo criadas as condições para permitir a premissa básica da computação ubíqua, ou seja, o acesso do usuário ao seu ambiente computacional a qualquer hora, em qualquer lugar, independente de dispositivo. Apesar dos significativos avanços observados, para que a computação ubíqua se torne uma realidade precisam ser vencidos alguns desafios:

- Interfaces de usuário devem suportar diferentes modalidades, bem como prever e antecipar a intenção do usuário;

- Serviços distribuídos devem ser adaptados aos usuários e suas tarefas e às trocas dinâmicas do estado do ambiente. Também devem contemplar a descoberta dinâmica de serviços e recursos;
- Infra-estruturas devem ser dinamicamente configuradas, antecipando a ação/tarefa do usuário. Também, devem ser consideradas restrições impostas pelo ambiente, tais como: conexão à rede intermitente e imprevisível, baixa capacidade de armazenamento e processamentos dos dispositivos, alta possibilidade de perdas e furtos dos dispositivos, tarefas computacionais que consomem muita energia (bateria).

3. Aspectos em Computação Sensível ao Contexto

Sensibilidade ao contexto, para sistemas computacionais, é uma área de estudo que engloba pesquisas desde: Computação Móvel, Computação Ubíqua, Redes Sensíveis a Serviços e *Grid Computing*. Em todas essas áreas de pesquisa, contexto tem sido usado para aumentar a interação entre usuário-máquina e máquina-máquina, tentando prover computação em qualquer lugar a qualquer hora.

Um sistema é sensível ao contexto, se ele usa contexto para prover informações ou serviços ao usuário (Dey, 1999). Aplicações cientes de contexto são aplicações que são capazes de modificar seu comportamento baseado nas informações de contexto ou são aplicações que mostram ao usuário informações de contexto.

Definição de Contexto: Todo tipo de atividade está envolto e é influenciado por um contexto. Por exemplo, uma frase dita por uma pessoa pode ter seu significado alterado baseado nos movimentos que ela realiza com sua mão, ou seja, o contexto que a comunicação está inserida modifica o seu significado.

A comunicação homem-máquina é mais limitada do que a homem-homem, pois as máquinas não são capazes de reconhecer o contexto em que as coisas ocorrem. Se fosse provido um meio de acesso ao contexto para os computadores, seria aumentada a riqueza da comunicação homem-máquina.

Inúmeros pesquisadores escreveram trabalhos em que redefinem o significado da palavra contexto a fim de adaptá-la à realidade computacional. Dentre estas, a mais citada é a de (Dey, 1999): *“Contexto é qualquer informação que pode ser utilizada para caracterizar a situação de uma entidade. Uma entidade é uma pessoa, lugar, ou objeto que é considerado relevante para a interação entre um usuário e uma aplicação, incluindo o usuário e a aplicação em si”*.

Essa definição é uma das mais usadas, pois ela torna mais fácil ao desenvolvedor classificar o contexto em uma aplicação, pois se um pedaço de informação pode ser usado para caracterizar uma situação do usuário com a interação com a aplicação, então essa informação é contexto. Como qualquer pedaço de informação pode ser caracterizado como uma característica de contexto é comum cada pesquisador usar sua própria definição de contexto para se adaptar as suas necessidades.

3.1. Tipos de Contexto

Vários trabalhos tentam classificar os tipos de contexto, aqui iremos mostrar algumas classificações comuns encontradas.

Em (Dey, 1999) é apresentada uma categorização inicial que é contexto primário e secundário. Primário será composto por localização, identidade, tempo e atividade, ou seja, situações que

caracterizam uma entidade e por isso são mais importantes que os outros tipos de contexto. Informações que podem ser inferidas ou encontradas através do contexto primário são classificadas como contexto secundário, como por exemplo, o e-mail de um usuário através do nome do mesmo.

(Abowd, 2000) sugere o uso das cinco dimensões semânticas, detalhadas na Tabela 1 a seguir.

Dimensão	Descrição
Who	Quem realiza uma determinada atividade, quem pode alterar o contexto ou que pode ser notificado caso o contexto seja alterado.
Where	Onde o contexto está. Esta é uma das dimensões mais usadas devido ao grande interesse de sistemas baseados em localização.
When	A informação temporal para determinar quanto tempo uma entidade está dentro de um contexto. Esta dimensão associada com a dimensão
Where	permite rastrear os caminhos que uma entidade tomou durante um período.
What	O que o usuário está fazendo neste momento. Geralmente necessita de sensores para determinar qual é a atividade, o que torna isso uma tarefa complexa.
Why	Determinar o porquê o usuário está realizando determinada atividade, essa é uma das tarefas mais difíceis por envolver questões de inteligência artificial.

Tabela 1 – Dimensões Semânticas de Contexto

Quando comparamos as cinco dimensões semânticas com a classificação de contexto primário e secundário, podemos notar que o contexto primário engloba “who”, “where”, “when” e “what” e que o contexto secundário englobaria “why”.

4. Tecnologias de Web Semântica: Conceitos e Tecnologias

A Web Semântica tem como objetivo fundamental associar a semântica correspondente às informações disponíveis na Web atual. Assim, documentos Web com conteúdo estruturado e com significado permitem um uso mais efetivo da informação para descoberta, automação, integração e reuso pelas várias aplicações. Para alcançar este objetivo há necessidade de estabelecer padrões de troca de informações que sejam interpretáveis por máquinas. Estes padrões não somente definem a sintaxe da informação, mas também o seu significado.

Segundo a Figura 1, a infra-estrutura da Web Semântica é construída com base nas especificações: (a) XML para estruturação de documentos; (b) Esquema XML para tipagem de dados de elementos XML; (c) RDF (Resource Description Framework) que fornece um modelo genérico de representação de metadados e uma sintaxe XML de serialização para esse modelo; e (d) Esquema RDF que fornece uma linguagem baseada em hierarquia de classes para descrever relacionamentos semânticos RDF por meio de classes, propriedades, relacionamentos entre classes e restrições (W3C, 2003).

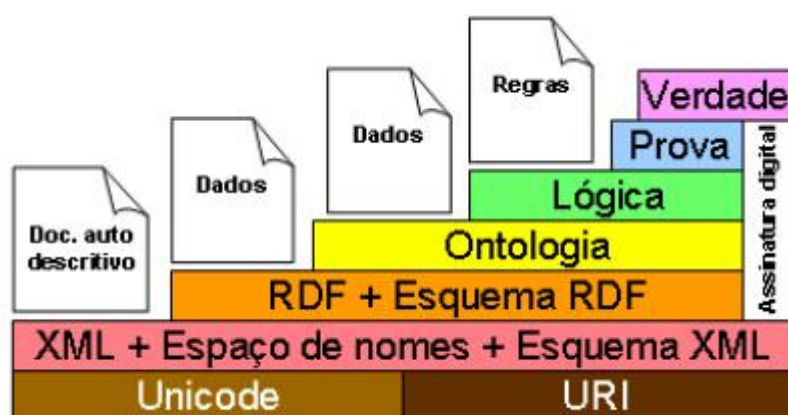


Figura 1 – Infra-estrutura da Web Semântica (Berners-Lee, 2000)

Além da interoperabilidade sintática e estrutural promovida pelos padrões XML, Esquema XML e RDF, a Web Semântica apóia-se em linguagens para definição de ontologias para prover interoperabilidade semântica entre aplicações.

Corcho e Gómez-Pérez (2000) descrevem e comparam estudos de linguagens de ontologia especialmente desenvolvidas para a Web. A linguagem de ontologia DAML (DARPA Agent Markup Language) é baseada nos padrões XML e RDF para expressar classificações e propriedades de recursos como extensão ao Esquema RDF (Hendler e McGuinness, 2000). A linguagem DAML tem sido utilizada como base para a definição de uma linguagem padrão de ontologia para Web, chamada OWL (Ontology Web Language) (W3C, 2003). A linguagem OWL fornece mecanismos para a completa especificação semântica de uma área de conhecimento, como o suporte a metadados, abstrações de classes, generalização, agregação, associação, relações de transitividade, simetria, negação, união e intersecção e mecanismo de detecção de inconsistências.

Para a construção de aplicações da Web Semântica, destaca-se o Toolkit Jena (McBride, 2002), por oferecer total compatibilidade com o RDF, liderar o suporte à linguagem OWL e permitir inferências sobre Esquemas RDF e ontologias OWL.

Portanto, para atingir a interoperabilidade semântica entre aplicações sensíveis ao contexto, é necessário utilizar uma linguagem de ontologia: (a) compatível com padrões estabelecidos como XML, RDF, Esquema RDF; (b) cuja sintaxe tenha riqueza de expressão para representar conhecimento e regras e permitir a inferência de novos dados; (c) de fácil compreensão e extensão; e (d) que tenha suporte de ferramentas que permitam manipular informações de contexto em ontologias criadas nessa linguagem.

O trabalho propõe, portanto, utilizar a linguagem OWL, padrão para a Web Semântica, por esta satisfazer os requisitos citados e a API para manipulação de ontologias OWL do Toolkit Jena.

4.1. Ontologias

Ontologias têm sido largamente utilizadas em áreas como gerenciamento de conteúdo e conhecimento, comércio eletrônico e Web semântica. De um modo geral, ontologias têm sido usadas para representar ambientes ubíquos, descrevendo, comumente, entidades envolvidas e suas respectivas propriedades. Elas definem principalmente os diferentes tipos de aplicações, serviços, dispositivos, usuários, entre outros. Além disso, estas ontologias definem descrições padrões para localização, atividades, informação sobre temperatura, etc.

Embora a palavra ontologia denote, em sua origem filosófica, uma teoria sobre a natureza do ser, para a Computação, ela vem sendo usada como um conjunto de entidades com suas relações, restrições, axiomas e vocabulário. Segundo Gruber (Gru, 1993), “uma especificação de um vocabulário de representação para um domínio de discurso compartilhado – definições de classes, relações, funções e outros objetos - é uma ontologia”.

O termo ontologia pode também ser definido a partir dos requisitos para possibilitar sua aplicação em Informática. Sendo assim, uma ontologia pode ser definida como “uma especificação explícita e formal de uma conceitualização compartilhada” (SBF, 1998). Esclarecendo os requisitos desta definição, tem-se que (FREITAS, 2003):

- Por “especificação explícita”, pode ser entendida como sendo definições de conceitos, instâncias, relações, restrições e axiomas.
- Por “formal”, que é declarativamente definida através de uma linguagem formal, portanto, compreensível para agentes inteligentes e sistemas.

- Por "conceitualização", que se trata de um modelo abstrato de uma área de conhecimento ou de um universo limitado de discurso.
- Por "compartilhada", por tratar-se de um conhecimento consensual, seja uma terminologia comum da área modelada ou acordada entre os desenvolvedores dos agentes que se comunicam.

5. Estudo de caso: suporte ontológico em Computação Sensível ao Contexto

Baseado nos estudos apresentados pesquisou-se o uso de ontologias para descrever características do contexto da computação ubíqua. Através das ontologias, espera-se garantir o reconhecimento das informações contextuais, possibilitando a integração das tecnologias de Web Semântica no desenvolvimento de aplicações sensíveis ao contexto.

A seguir é apresentado o modelo de contexto concebido neste trabalho para o uso com o Context Kernel, bem como é feito um estudo de caso na plataforma Context Kernel; enquanto infra-estrutura para processamento semântico de informações contextuais.

5.1. Modelagem de Contexto para Uso com o Context Kernel

Neste trabalho, o contexto é definido "toda informação relevante para a aplicação e que pode ser obtida por esta". O programador explicitamente identifica os aspectos da entidade de onde provém a informação e define seus atributos (elementos de contexto), os quais passam a integrar o contexto da aplicação. Para isso, é necessário que esse contexto seja representado com semântica explícita de forma a facilitar o seu comportamento, reuso e processamento nas mais diversas aplicações (Bulcao & Pimentel, 2003).

Uma alternativa para atingir esse propósito é introduzir em modelos de informação contextual tecnologias de Web Semântica, tais como ontologias. Como apresentado na seção 4.1, as características ontológicas de formalidade, semântica explícita e abstração de implementação habilitam sistemas de software não apenas a inferir novas informações a partir de informações modeladas por ontologias, mas também a compartilhar entre si essas informações de maneira a integrar de forma transparente os serviços que as manipulam.

Este trabalho, propõe como contribuição o desenvolvimento de um modelo ontológico, denominado *OntContext* (Ontologia do Contexto), esse modelo está em fase de construção pelo grupo de pesquisa G3PD do Curso de Pós-Graduação da Universidade Católica de Pelotas, visando atender a vários domínios de aplicações sensíveis a contexto, como descoberta de recursos, sensibilidade ao contexto e adaptação ao contexto.

O *OntContext*, modela informações de contexto, seguindo as dimensões semânticas discutidas por Abowd & Mynatt (Abowd, Mynatt, 2000) de identificação, localização, tempo, atividade, dispositivos, eventos e modo de captura e acesso, a seguir apresentadas.

Conforme mostra a Figura 2, a classe *User* modela diversos aspectos relacionados a entidades que executam alguma ação em uma interação usuário-computador. Estas foram criadas para facilitar o reúso de informações contextuais sobre *User*, pois pode-se utilizar apenas o conhecimento necessário a respeito destes.

Ainda segundo a Figura 2, as ontologias *Esp*, *Time*, *Ativ* e *Disp* modelam, respectivamente, informações de contexto de localização, tempo, atividade e dispositivos computacionais de captura e acesso.

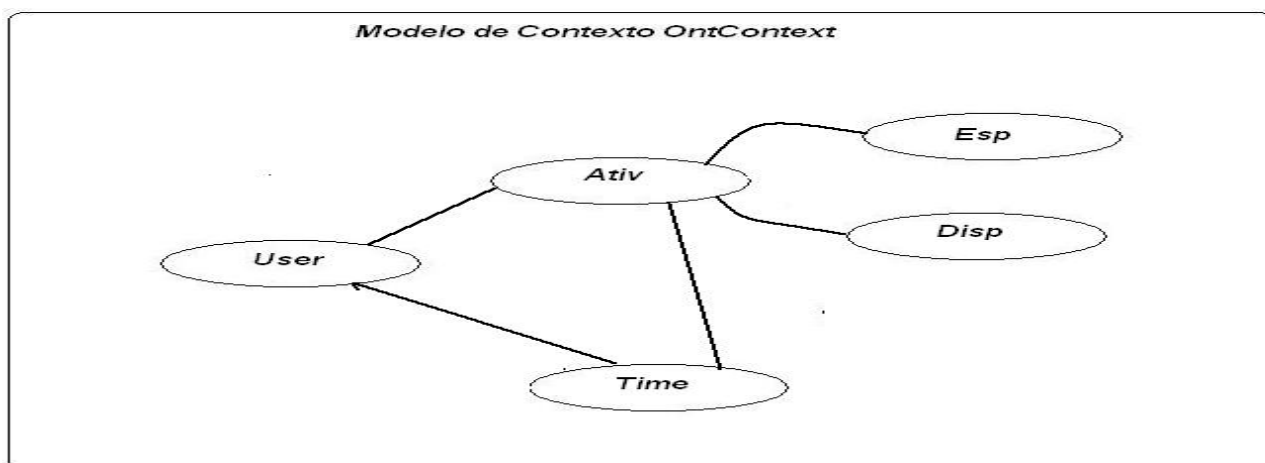


Figura 2 – Modelo de Contexto

Os glossários de termos apresentado na tabela 2 mostra as classes e suas respectivas descrições correspondente ao Modelo de Contexto proposto.

Termos	Descrição
<i>User</i>	Corresponde às pessoas e agentes que podem realizar ações em um ambiente de computação sensível ao contexto. São atributos relacionadas aos dados de identificação(nome, telefone), tipo de usuário, entre outros.
<i>Disp</i>	Conceito que descreve os dispositivos computacionais quanto aos seus componentes de hardware e software. Os atributos de hardware inclui, por exemplo, informações sobre o tamanho de armazenamento, capacidade da bateria, conectividade de rede, multimídia; enquanto que de software, descreve sistemas operacionais, browser suportados, máquinas virtuais instaladas, entre outros.
<i>Ativ</i>	Descreve ações que os <i>User</i> realizam ou fazem acontecer em um ambiente de computação sensível ao contexto. As <i>Ativ</i> descrevem as atividades quanto ao tempo em que ocorrem; quanto ao espaço que acontecem; de acordo com a função dos <i>User</i> ; atividades que envolvam <i>Use</i> e <i>Disp</i> ; e diferenciando atividades que ocorrem espontaneamente daquelas que ocorrem de maneira prevista. Por exemplo, cause um dispositivo pare de funcionar de modo imprevisto.
<i>Esp</i>	Conceito relacionado à descrição do context detectado da localização de uma pessoa ou de um objeto. O contexto da localização é a informação que descreve onde está uma pessoa ou um objeto, incluindo propriedades temporal e espacial.
<i>Time</i>	Expressa o tempo e relações temporais. Usado para descrever propriedades temporais de diferentes eventos que ocorrem no ambiente de computação sensível ao contexto.

Tabela 2 – Glossário de termos do modelo de contexto

5.2 Sensibilidade ao Contexto com o Context Kernel

O Context Kernel é um web service (Burner, 2003) que fornece o armazenamento, recuperação e intercâmbio de informações de contexto entre aplicações por meio de operações XML que implementam as dimensões semânticas discutidas em Abowd (2000) e Truong (2001): tempo (When), localização (Where), identificação (Who), modo de captura e acesso de dados (Whon), atividade (What) e motivação (Why).

O Context Kernel classifica as dimensões de tempo, localização, identidade e modo de captura e acesso de dados como informações primitivas (ou atômicas), enquanto que atividade e motivação como informações derivadas por serem obtidas a partir da combinação de outras dimensões (primitivas e/ou derivadas) na forma de regras de inferência (Arruda Jr, 2003a).

Por suportar declaração, armazenamento e recuperação como operações básicas, pouca computação é envolvida no Context Kernel. Porém, aplicações podem fazer uso de operações e serviços mais complexos tanto para declaração e armazenamento quanto para recuperação e consulta baseadas na semântica das informações de contexto gerenciadas pelo Context Kernel (Arruda Jr, 2003b).

Vale destacar que a abordagem de web services empregada no Context Kernel traz como vantagens:

- utilizar a infra-estrutura da Internet e especificações XML que permitem comunicação transparente em ambientes heterogêneos de hardware e software;
- assumir a responsabilidade pelo processamento de informações de contexto.

Considerando isso, o Context Kernel permite que as aplicações armazenem, recuperarem e compartilhem informações de contexto utilizando a Web como plataforma de intercâmbio. Deste modo, o Context Kernel contribui para simplificação do processo de desenvolvimento de infra-estruturas computacionais para suporte ao desenvolvimento de aplicações sensíveis ao contexto.

5.2.1 Serviços do Context Kernel na Semântica das Informações Contextuais

A Figura 3 ilustra a arquitetura da infra-estrutura Context Kernel, cujos componentes podem pertencer a um dos seguintes níveis ou camadas: o nível de aplicação e o nível de infra-estrutura.

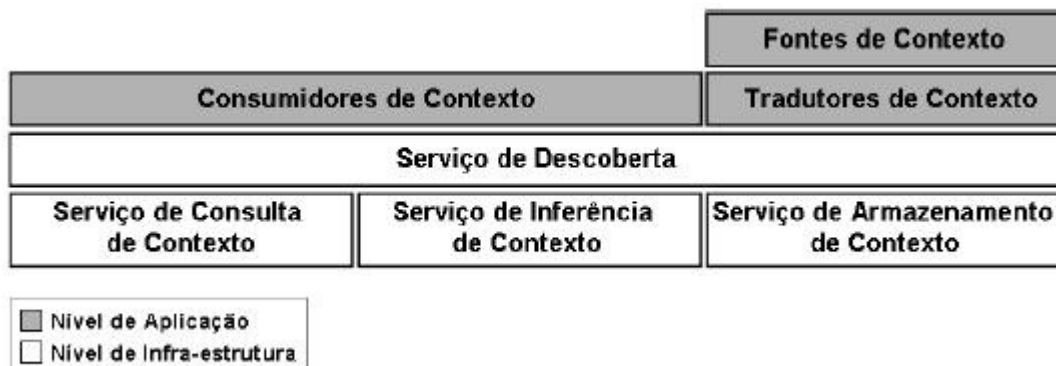


Figura 3: Arquitetura da infra-estrutura Context Kernel (Bulcão,2005)

O nível de aplicação representa os componentes do ponto de vista do desenvolvedor ou do usuário de uma aplicação sensível a contexto. Esses componentes comunicam-se com o nível de infra-estrutura ao fornecer-lhe ou solicitar-lhe informações de contexto instanciadas a partir do modelo ontológico subjacente na forma de triplas RDF (Klyne & Carroll, 2004). O mecanismo de comunicação entre componentes dos níveis de aplicação e infra-estrutura promovem a interoperabilidade semântica entre aplicações sensíveis a contexto ao fornecer-lhes um modelo compartilhado e uniforme de acesso a informações de contexto.

Informações de contexto são fornecidas ao nível de infra-estrutura por meio dos componentes fontes de contexto, que podem incluir não apenas aplicações, mas também serviços Web (W3C, 2003) e sensores físicos. Serviços Web podem, por exemplo, fornecer informações de contexto referentes a condições climáticas ou a atividades agendadas de um usuário, como descrito por (Sheshagiri, 2004). Sensores físicos são amplamente utilizados em computação sensível a contexto.

Há situações em que fontes de contexto não representam informações segundo o modelo ontológico subjacente no formato de triplas RDF. Tais situações incluem fontes de contexto não projetadas inicialmente para serem integradas aos serviços da infra-estrutura do Context Kernel, ou de sensores físicos que, em geral, têm sua própria representação para os tipos de dados que manipulam. Nesses casos, fontes de contexto necessitam de componentes tradutores de contexto cuja principal tarefa consiste em converter (ou traduzir) a informação capturada das fontes de contexto para a representação semântica comum entre os componentes dos níveis de aplicação e de infra-estrutura: o modelo de triplas RDF.

Finalizando a apresentação do nível de aplicação, os componentes consumidores de contexto fazem uso da informação contextual fornecida pelas fontes de contexto ao nível de infra-estrutura. Consumidores de contexto são representados por aplicações sensíveis a contexto, que utilizam informação contextual para adaptarem seus serviços segundo a situação corrente do usuário. A maneira pela qual consumidores de contexto recuperam informações do nível de infra-estrutura também se dá segundo o formato de triplas RDF.

Com respeito aos componentes do nível de infra-estrutura, apresentados na Figura 2, estes fornecem um conjunto de serviços básicos que aplicações sensíveis a contexto podem usufruir para estender suas capacidades, bem como para compartilhar informações de contexto entre si. Os quatro serviços são detalhados a seguir:

- **Serviço de Descoberta:** fornece um mecanismo de anúncio que permite identificar os componentes que fornecem informações de contexto ao nível de infra-estrutura, bem como os próprios serviços oferecidos pela infra-estrutura Context kernel. Vale lembrar que se a informação contextual necessita ser convertida para triplas RDF do modelo subjacente, tradutores de contexto são objeto de identificação pelo serviço de descoberta, caso contrário, fontes de contexto o são. Por meio do mecanismo de anúncio oferecido pelo serviço de descoberta, consumidores de contexto (aplicações) são capazes de localizar os serviços do nível de infra-estrutura para consulta ou inferência de informações de contexto.
- **Serviço de Armazenamento de Contexto:** permite que componentes do nível de aplicação, fontes ou tradutores de contexto, armazenem informação contextual. Como descrito anteriormente, essa informação armazenada é recuperada pelos componentes consumidores de contexto via serviços de consulta ou inferência de contexto. O serviço de armazenamento de contexto pode ser configurado quanto ao tipo de armazenamento persistente para informações contextuais: em bases de dados relacionais ou em arquivos.
- **Serviço de Consulta de Contexto:** permite que componentes consumidores de contexto consultem informações por meio de uma linguagem declarativa para modelos RDF. Esse serviço oferece a opção de configurar a linguagem de consulta de modelos RDF a ser

utilizada com diferentes capacidades de expressão. Em geral, as expressões de consulta oferecidas por tais linguagens são representadas por meio da comparação de um grafo RDF de entrada, definido pelo usuário, em relação aos grafos de triplas RDF que representam as informações de contexto armazenadas.

- **Serviço de Inferência de Contexto:** fornece a consumidores de contexto (ou aplicações) um mecanismo de inferência sobre informações de contexto que, em geral, pode ser configurado para realizar dois tipos de raciocínio computacional: o raciocínio baseado em ontologias e o raciocínio baseado em regras.

6. Considerações Finais

Este artigo propôs a utilização de tecnologias da infra-estrutura da Web Semântica, em particular ontologias, na extensão das funcionalidades da infra-estrutura do serviço de sensibilidade ao contexto na infra-estrutura do Context Kernel.

Sua plataforma será estendida por meio da especificação em OWL e da implementação com base na API do toolkit Jena de um modelo ontológico de representação de informações de contexto segundo dimensões semânticas propostas na literatura.

A utilização de tecnologias de Web Semântica para representação e processamento de informações de contexto traz como vantagens: (a) a descrição formal, padrão e estruturada de cada dimensão semântica de informação de contexto; (b) o suporte à interoperabilidade sintática, estrutural e, principalmente, semântica entre aplicações cientes de contexto; e (c) a capacidade da infra-estrutura do Context Kernel de interpretar e inferir inter-relacionamentos com base nos conteúdos e descrições semânticas das entidades envolvidas.

Dentre as contribuições desse trabalho desta-se:

- o modelo *OntContext*, desenvolvido como base em ontologias e padrões de Web Semântica para modelagem e representação de informação contextual; e
- a infra-estrutura de serviços do Context Kernel, que fornece as aplicações sensíveis ao contexto serviços confiáveis que interpretam a semântica explícita de informações de contexto instanciadas a partir de um modelo ontológico.

Para trabalhos futuros sugere-se a integração do modelo de informações contextuais e os serviços do Context Kernel ao middleware EXEHDA (*Execution Environment for Highly Distributed Applications*).

7. Referências Bibliográficas

Abowd, G.D. and Mynatt, E. (2000) “Charting Past, Present and Future Research in Ubiquitous Computing”, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 7(1):29-58.

Arruda Jr, C.R.E.; Bulcão Neto, R.F. and Pimentel, M.G.C. (2003a) “Open Context-aware Storage as a Web Service”, *International Workshop on Middleware for Pervasive and Ad-Hoc Computing, ACM/IFIP/USENIX International Middleware Conference, Anais*, p.81-87.

Arruda Jr, C.R.E.; Bulcão Neto, R.F. and Pimentel, M.G.C. (2003b) “A Web Service Integrating Ubiquitous Computing Applications”, *Relatório Técnico no 208, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo*, 15p.

- Berners-Lee, T. (2000) “Semantic Web on XML”, XML 2000 (talk), Washington DC.
- Berners-Lee, T.; Hendler, J. and Lassila, O. (2001) “The Semantic Web”, Scientific American, 284(5):34-43.
- Bulcao Neto, R. F., e Pimentel, M. G. C. (2003). Interoperabilidade semântica entre aplicações cientes de contexto. In Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web(Web Media 03), pp. 371-385, Salvador-BA, Brasil.
- Bulcão Neto, R. F e Pimentel, M. G.C. (2005). Toward a domain-independent semantic model for context-aware computing. In Proceedings of the 3rd Latin American Web Congress (LA-Web 05), pp. 61-70, Buenos Aires, Argentina.
- Burner, M. (2003) “The Deliberate Revolution”, ACM Queue (Web Services), 1(1):28–37.
- Burrell, J.; Gay, G.K.; Kubo, K. and Farina, N. (2002) “Context-aware Computing: A Test Case”. International Conference on Ubiquitous Computing, Anais, p.1-15.
- Corcho, O. and Gómez-Pérez, A. (2000) “Ontology Specification Languages for the Semantic Web”, IEEE Intelligent Systems, 17(1):54-60.
- Dey, Anind K.; Abowd, Gregory D.. (1999) *Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness*. 1st International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing.
- Dey, A.K. (2001) “Understanding and Using Context”, Personal UbiComp, 5(1):04-07.
- Fred Freitas. Ontologias e a Web Semântica. In Renata Vieira; Fernando Osório, editor, *Anais do XXIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*, volume 8, pages 1–52, 2003. Jornada de Mini-Cursos em Inteligência Artificial
- G. Klyne e J. J. Carroll. (2004). Resource Description Framework (RDF): Concepts and abstract syntax, <http://www.w3.org/TR/rdf-concepts/>.
- Hendler, J. and McGuinness, D.L. (2000) “The DARPA Agent Markup Language”, IEEE Intelligent Systems, 16(6):67-73.
- McBride, B. (2002) “Jena: A Semantic Web Toolkit”, IEEE Internet Computing, 6(6):55-59.
- Thomas R. Gruber.(1993) A Translation Approach to Portable Ontologies. Knowledge Acquisition, 5(2):199–220, 1993.
- Rudi Studer, V. Richard Benjamins, and Dieter Fensel.(1998) Knowledge Engineering: Principles and Methods. Data Knowledge Engineering, 25(1-2):161–197, 1998.
- Sheshagiri, M., Sadeh, N., e Gandon, F.(2004). Using semantic web services for context-aware mobile applications. In Proceedings of the Workshop on Context Awareness in conjunction with the 2nd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys 2004), pp. 1-7, Boston, Massachusetts, USA
- Truong, K.; Abowd, G.D. and Brotherton, J. (2001) “Who, What, When, How: Design Issues of

Capture & Access Applications”, International Conference on Ubiquitous Computing, Anais, p.209-224.

W3C. (2003) “Especificações do Consórcio World Wide Web”, <http://www.w3.org/>.

Weiser, M. (1991) “The Computer for the 21st Century”, Scientific American, 265(3):94-104.