SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito:

Assinatura:_____

Integração de serviços em ambientes heterogêneos: uso de semântica para comunicação entre entidades em mudanças de contexto

Renata Maria Porto Vanni

Orientador: ***Prof. Dr. Edson dos Santos Moreira***

Tese apresentada ao Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC-USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências - Ciências de Computação e Matemática Computacional.

USP – São Carlos
Agosto de 2009

Aos meus filhos, Marina e Filipe, e ao meu esposo, Fernando, pelo amor incondicional que sinto por eles.

"*Aquele, porém, que atenta bem para a lei perfeita da liberdade e nisto persevera, não sendo ouvinte esquecido, mas fazedor da obra, este tal será bem-aventurado em seus feitos*."

(Tiago, 1:25)

Agradecimentos

Ao meu esposo, Fernando, por todo seu amor, paciência, sinceridade, incentivo, sacrifício, e apoio financeiro, principalmente durante o ano de estágio na Inglaterra.

Aos meus filhos, Marina e Filipe, por terem me acompanhado no estágio, sem vocês eu não teria conseguido.

Aos meus pais, Mário e Lúcia, e aos meus irmãos, Fernando, Fábio, Marinho e Isabel, pelo incentivo, amor e carinho em todos os momentos da minha vida.

Aos meus cunhados e cunhadas, Miriam, João, Guilherme, Isabela, André, Simone, Ricardo, Vanessa, Grace e Camila, à minha sogra, Marise, aos meus sobrinhos e sobrinhas, Victória, Sophia, Cássio, Valentina, Fernando, Guilherme e Guilherme, por me proporcionarem momentos tão agradáveis.

Aos meus avós, tios, tias, primas e primos por sempre se alegrarem com as minhas alegrias.

Ao meu orientador, Prof. Edson, pela paciência, ajuda, compreensão e amizade.

Ao Prof. Jon Crowcroft e ao Prof. Glenford Mapp por terem me acolhido na Universidade de Cambridge.

Aos amigos que deixei em Cambridge, muito obrigada pelas conversas e almoços.

Aos meus colegas de trabalho do grupo SOHand e do laboratório Intermídia, pela troca de idéias e ajuda.

A todos os funcionários do ICMC que sempre estão prontos a ajudar.

À Adriana e à Solange por me ajudarem nos afazeres domésticos, possibilitando que eu tivesse mais tempo para me dedicar ao trabalho e à família.

A todos os meus amigos, muito obrigada pelo abraço acolhedor de sempre.

Aos professores da banca por dedicarem-se à leitura e à defesa deste trabalho.

À CAPES pela bolsa de doutorado e pela bolsa de estágio.

Resumo

Redes de Quarta Geração (4G) possibilitam acesso ubíquo a serviços em redes heterogêneas. Nesses ambientes, a distribuição do gerenciamento pode necessitar de semânticas para o vocabulário compartilhado, uma facilidade ainda não explorada. Por essa razão, provedores de acesso de diferentes domínios de gerenciamento possuem o desafio de compartilhar informações gerenciais nas trocas de pontos de acesso realizadas pelos usuários em redes 4G. Isso se deve principalmente à carência de um modelo de negócio – com controle de acesso, com acordos mútuos, e com gerenciamento de tarifação, segurança e privacidade –, o que limita a colaboração entre provedores no momento de aceitar um novo usuário. Este trabalho descreve um conjunto de ontologias para serem utilizadas por novos modelos de acesso – com suporte de ontologias – para redes 4G. As ontologias formalizam o vocabulário comum das entidades em redes 4G. Para avaliar as ontologias desenvolvidas, a abordagem escolhida foi desenvolver dois protótipos de serviços para redes 4G que especializaram partes das ontologias Haggle, Y-Comm, SOHand e DOHand. A principal contribuição deste trabalho é facilitar a troca de informações gerenciais entre moderadores, usuários e provedores de serviços. Outra contribuição é mostrar como o uso de ontologias em plataformas 4G facilita a inserção de novos serviços nos ambientes integrados.

Abstract

Fourth Generation Networks (4G) introduce the capability of ubiquitous access to services in heterogeneous networks. In these environments, the distribution of the management would require semantics for common sharing vocabulary, an ability which is not yet provided. For that reason, service providers from different management domains are facing the challenge of exchanging managerial information between them during handovers. This is mainly due to the lack of new business models – with access control, peering agreements, billing, security and privacy management, QoS standardization – which strongly limit the collaboration between providers in the moment of receiving a new user. This work describes a set of ontologies to be used by new access models – supported by ontologies – for 4G. The ontologies are mapping out the common vocabulary of entities. The approach used to validate the set of ontologies was the development of two service prototypes for 4G, the prototypes specialized a subset of Haggle, Y-Comm, SOHand and DOHand ontologies. The main contribution is to provide the information structuring necessary for easy exchanging of managerial information between service providers, users and brokers. Another contribution of this work is to demostrate how ontologies facilitate the creation of new services in integrated environments.

Sumário

Sumário 1
Lista de Figuras 7
Lista de Tabelas 10
Lista de Siglas 11
Capítulo 1 Introdução 15
1.1 Considerações Iniciais 15
1.2 Um Cenário de Uso em Plataforma 4G 16
1.3 Motivação 17
1.4 Objetivos e Contribuições 20
1.5 Organização do Trabalho 22
1.6 Considerações Finais 22
Capítulo 2 Tecnologias Complementares para Redes sem Fio 24
2.1 Considerações Iniciais 24
2.2 Tecnologias de Redes Sem Fio de Maior Aceitação em Redes Pessoais, Locais, Metropolitanas e de Celulares. 24
2.3 Tecnologia Bluetooth para Redes Pessoais 26
2.3.1 Mecanismo de autenticação em Bluetooth 27
2.3.2 Principais Aplicações, Limitação e Vantagens. 29
2.4 Tecnologia Wi-Fi para Redes Locais 30
2.4.1 Mecanismo de autenticação e associação. 32
2.4.2 Principais Aplicações, Limitações e Vantagens. 35
2.5 Tecnologia WiMax para Redes Metropolitanas 36
2.5.1 Mecanismo de Autenticação e Associação. 39
2.5.2 Principais Aplicações, Limitações e Vantagens. 41
2.6 Tecnologia UMTS/GSM/GPRS para Telefonia Celular 41
2.6.1 Mecanismo de autenticação. 45
2.6.2 Utilização, limitação e vantagens. 46
2.7 Diferenças entre as tecnologias complementares 47

2.8 Considerações Finais 49

Capítulo 3 Redes de 4a. Geração e tecnologia integradora IEEE 802.21 50

3.1 Considerações iniciais.....50

3.2 Redes de 4a. Geração.....51

3.3 Áreas de interesse em redes 4G.....53

3.3.1 Arcabouço e arquitetura.....53

3.3.2 Modelos de arquitetura para redes 4G.....53

3.3.3 Qualidade-de-Serviço fim-a-fim.....54

3.3.4 Plataformas de serviços 54

3.3.5 Gerenciamento de Rede.....55

3.3.6 Segurança.....56

3.3.7 Mobilidade generalizada.....56

3.3.8 Protocolos e arquiteturas de controle da rede 58

3.3.9 Características e arquitetura de serviços 4G.....59

3.3.10 Interoperabilidade de serviços e redes em 4G 59

3.3.11 Numeração, nomeamento e endereçamento 60

3.3.12 Princípios fundamentais e requisitos para resolução de nomes e/ou números60

3.3.13 Capacidade de comunicação em desastres e perdas.....61

3.4 Padronização para convergência de tecnologias – IEEE 802.21.....62

3.4.1 Serviços Media Independent Handover (MIH).....63

3.4.2 Modelo de Comunicação MIH.....66

3.4.3 Um exemplo de implantação de rede com serviços MIH.....68

3.5 Considerações finais 71

Capítulo 4 Modelos de Referência para Redes 4G 73

4.1 Considerações iniciais.....73

4.2 Handover 73

4.2.1 Classificação de tipos de Handover sob várias perspectivas 74

4.2.2 Classificação de tipos de Handover sob a perspectiva deste trabalho...76

Handover Imperativo 76

Handover Alternativo....77
Handover Oportunístico....78
4.3 Modelos de Referência para Plataformas 4G e Integração Proposta....79
4.3.1 Modelo Y-COMM....79
4.3.1.1 Arcabouço da Rede Periférica....81
Camada da Plataforma de Hardware....81
Camada de Abstração de Rede....82
Camada de Handover Vertical....82
Gerenciador de Políticas....83
Camada de Transporte do Sistema Final....84
Camada de QoS....86
Camada do Ambiente de Aplicação....86
4.3.1.2 Arcabouço do Núcleo da Rede....86
Camada da Plataforma de Hardware....87
Camada de Abstração de Rede....87
Camada de Reconfiguração....87
Camada de Gerenciamento da Rede....87
Camada de Sistema de Transporte no Núcleo....87
Camada de Qualidade-de-serviço da rede....88
Camada de Plataforma de Serviço....88
4.3.1.3 Mapeando Y-Comm em uma plataforma de telefonia móvel....88
4.3.2 Modelo SOHand....90
4.3.2.1 Componentes da Arquitetura SOHand....91
Fontes de Contexto e Gerenciador de Contexto....92
Procedimento de conexão....95
4.3.2.2 Integração entre SOHand e Y-Comm....96
4.3.3 Modelo Haggle....97
4.3.3.1 Pocket Switch Network (PSN) – Descrição....98
Motivação na utilização de PSNs....100
Desafios nas redes PSN....100

4.3.3.2 Arquitetura Haggle 101

Gerenciador de Dados 102

Gerenciador de Nomes 105

Gerenciador de Conectividade 107

Gerenciador de Protocolo 107

Gerenciador de Encaminhamento 108

Gerenciador de Recurso 109

Aplicações em plataformas Haggle 110

4.3.3.3 Integração entre Haggle, SOHand e Y-Comm 112

4.4 Considerações finais 113

Capítulo 5 Tecnologia Ontologia 115

5.1 Considerações Iniciais 115

5.2 O Conceito de Ontologia 117

5.3 O Uso de Ontologias 119

5.4 Metodologia de desenvolvimento 121

5.5 Linguagens de Representação 124

5.5.1 Resource Description Framework (RDF) e Esquema RDF 124

5.5.2 OWL – Web Ontology Language 130

5.6 Ambientes para Modelar e Avaliar Ontologias 134

5.6.1 A Ferramenta Protégé 135

5.6.2 A Máquina de Inferência Pellet 138

5.6.3 A Linguagem SPARQL 140

5.7 Ontologias e trabalhos relacionados 141

5.7.1 Ontologia SUMO 142

5.7.2 Ontologia FOAF 143

5.7.3 SOUPA – *Standard Ontology for Ubiquitous and Pervasive Applications* 143

5.7.4 *Semantic Context Model* - SeCoM 148

5.7.5 Ontologias em Sistemas Autonômicos 150

5.7.6 Mobilidade transparente em Sistemas de 4ª. Geração 152

5.7.7 Modelo para centralização de dados de assinantes 155
5.7.8 Uma ontologia para autenticação wireless genérica 156

5.8 Considerações Finais 158

Capítulo 6 Ontologias modeladas para 4G 159

6.1 Considerações Iniciais 159
6.2 Desenvolvimento das Ontologias 160

6.2.1 Planejamento e Especificação 160
6.2.2 Aquisição de Conhecimento 160
6.2.3 Conceituação 163

Representação macro do Y-Comm 163
Representação macro do SOHand 166
Representação macro no Haggle 167
Representação macro dos conceitos comuns 170

6.2.4 Formalização 172
6.2.5 Integração 176
6.2.6 Implementação 177
6.2.7 Manutenção 178
6.2.8 Documentação 178
6.2.9 Avaliação Qualitativa 179

6.3 Considerações Finais 184

Capítulo 7 Processo de avaliação das Ontologias 185

7.1 Considerações Iniciais 185
7.2 Serviço de Reputação para rede 4G 185

7.2.1 Protótipo de teste 187
7.2.2 Arquitetura para uso no dispositivo do usuário 189

7.3 Serviço de “footprinting” para redes 4G 190

7.3.1 Modelo de distribuição das ontologias no Footprinting 194

7.4 Resultados sobre a avaliação da tecnologia ontologia em plataformas 4G 199
7.5 Considerações Finais 200

Capítulo 8 Contribuições e Trabalhos Futuros 201

8.1 Considerações Iniciais.....201

8.2 Principais contribuições 201

8.3 Trabalhos Futuros 204

Referências Bibliográficas.....206

Apêndice A. Vocabulário de Conceitos utilizados nas ontologias 226

Apêndice B. Código OWL das ontologias desenvolvidas.....231

Ontologia Haggle 231

Ontologia User 239

Ontologia Device.....254

Ontologia DOHand.....317

Ontologia Y-Comm.....335

Ontologia SOHand 342

Lista de Figuras

Figura 1-1 Exemplo de cenário em plataforma 4G 17
Figura 2-1 - Alcance das redes sem fio e a ordem histórica de desenvolvimento (adaptado de Fitzek e Katz, 2007) 25
Figura 2-2- Comunicação entre dispositivos usando o padrão 802.15 (adaptado de Cordeiro et al., 2003) 27
Figura 2-3 Processo de autenticação no Bluetooth (adaptado de Suri e Rani, 2008) 28
Figura 2-4 Componentes físicos de uma rede 802.11 no modo infraestruturada 31
Figura 2-5 Processo de autenticação e associação entre um dispositivo do usuário e um AP 33
Figura 2-6 Arquitetura de uma rede Mobile WiMax (adaptado de Taaghol et al., 2008) 38
Figura 2-7 Processo de Autenticação e Associação no Mobile WiMax 40
Figura 2-8 Arquitetura da rede UMTS/GSM (adaptado de Muratore, 2001) 42
Figura 2-9 Arquitetura UMTS/GSM/GPRS (adaptado de Muratore, 2001 e Dharmaraja et al., 2008) 44
Figura 2-10 Processo de Autenticação e Associação no UMTS 45
Figura 3-1 Arquitetura 802.21 sugerida pelo grupo IEEE 802.21 (adaptado de IEEE 802.21 Tutorial, 2006) 64
Figura 3-2 Modelo de Comunicação MIHF (adaptado de IEEE 802.21, 2008) 67
Figura 3-3 Exemplo de Rede com Serviços MIH (adaptado de IEEE 802.21, 2008) 71
Figura 4-1 Classificação de Handovers (adaptado de Mapp et al., 2009) 76
Figura 4-2 Arcabouço Y-Comm: Rede Periférica e Núcleo da Rede (adaptado de Mapp et al., 2009) 81
Figura 4-3 Arquitetura UMTS/GSM/GPRS (adaptado de Mapp et al., 2009) 89
Figura 4-4 Y-Comm mapeado em UMTS (adaptado de Mapp et. al, 2009) 90
Figura 4-5 Arquitetura SOHand - lado cliente, Broker e lado provedor (adaptado de Yokoyama, 2009) 92
Figura 4-6 Integração entre o modelo SOHand e o modelo Y-Comm 97
Figura 4-7 Possibilidades de envio de mensagem (adaptado de Rodrigues, 2007) 99
Figura 4-8 Arquitetura Haggle (Hui, 2008) 102
Figura 4-9 Grafo de DO para uma página na Web (adaptado de Rodrigues, 2007) 104

Figura 4-10 Aplicação de e-mail no Haggle 111
Figura 4-11 Integração entre o modelo Haggle e os modelos Y-Comm e SOHand 113
Figura 5-1 Atividades e estados da METHONTOLOGY (adaptado de Fernández et al., 1997) 122
Figura 5-2 Assertiva de um Grafo RDF (adaptado de Antoniou e Harmelen, 2004) ... 126
Figura 5-3 Representação de um grafo RDF com seis assertivas (triplas) 127
Figura 5-4 Exemplo de um Esquema RDF conforme representação de hierarquia de classes 128
Figura 5-5 Pilha de linguagens na Web Semântica (adaptado de Gómez-Pérez e Corcho, 2002). 129
Figura 5-6 Linguagem OWL na pilha de linguagens na Web Semântica 130
Figura 5-7 – Tela da ferramenta Protégé na edição da Ontologia Haggle 137
Figura 5-8 Núcleo e Extensão da Ontologia SOUPA (Chen et al., 2004) 147
Figura 5-9 – Modelo da máquina de correlação (Stojanovic, 2004) 151
Figura 5-10 Parte da Ontologia desenvolvida (Stojanovic, 2004) 152
Figura 5-11 Configuração do ambiente de testes no laboratório de pesquisa da Universidade de Cambridge (adaptado de Vidales, 2005) 154
Figura 5-12 Consolidação lógica e física dos dados dos assinantes (adaptado de Alazeib, 2005) 157
Figura 6-1 Conceitos mapeados na Ontologia Y-Comm (adaptado de Vanni et al., 2009) 164
Figura 6-2 Taxonomia de Classes na Ontologia do Modelo Y-Comm 165
Figura 6-3 Conceitos mapeados na ontologia SOHand 166
Figura 6-4 Taxonomia de Classes na Ontologia do Modelo SOHand 167
Figura 6-5 Conceitos mapeados na ontologia Haggle 168
Figura 6-6 Taxonomia expandida de Classes na Ontologia do Modelo Haggle 169
Figura 6-7 Conceitos em redes de comunicação mapeados na ontologia DOHand 171
Figura 7-1 A ontologia PrOHand (adaptado de Gonçalves et al. 2008) 186
Figura 7-2 Comunicação entre usuários com mecanismo de reputação (adaptado de Gonçalves et al. 2008) 187
Figura 7-3 Níveis do processo de criação do protótipo (adaptado de Gonçalves et al. 2008) 188

Figura 7-4 Sequência do processo de teste do protótipo (adaptado de Gonçalves et al. 2008) 189
Figura 7-5 Arquitetura da aplicação em um ambiente real (adaptado de Gonçalves et al. 2008) 190
Figura 7-6 Cenário de utilização do Footprinting (adaptado de Vanni et al. 2009) 192
Figura 7-7 Ontologia Footprinting 193
Figura 7-8 Distribuição e utilização das ontologias entre Footprinting e Y-Comm 195
Figura 7-9 Representação XML da transferência de informações 196
Figura 7-10 Código da pesquisa sobre leituras em uma localização utilizando ontologias 197
Figura 7-11 Tabela com os resultados das leituras dos usuários 198

Lista de Tabelas

Tabela 2-1Comparação entre padrões 802.11.....32
Tabela 2-2 Diferenças entre tecnologias complementares (adaptada de Peterson e Davie, 2007).....47
Tabela 3-1 Sumário dos pontos de referência.....70
Tabela 4-1 Tipos de Handovers por diversas perspectivas (Yokoyama, 2009).....75
Tabela 4-2 Fontes de contexto e exemplos de informações que podem ser capturadas (adaptado de Yokoyama, 2009) 93

Lista de Siglas

1G - First Generation

2G - Second Generation

3G - Third Generation

3GPP - 3rd Generation Partnership Project

4G - Fourth Generation Network

Abox - Assertional Box

AID - Association Identifier

AP - Access Point

API - Application Programming Interface

ASN – Access Services Network

ASN-GW - ASN Gateway

BS – Base Station

BSC – Base Station Controller

BSS - Base Station Subsystem

BTS – Base Transceiver Station

CMMI - Capability Maturity Model Integration

CoBrA – Context Broker Architecture

CPU - Central Processing Unit

CSN – Connectivity Services Network

DAML - DARPA Agent Markup Language

DARPA - Defense Advanced Research Projects Agency

DFA - Direct Forwarding Algorithm

DL - Description Logics

DNS – Domain Name System

DO - Data Object

DOHand – Domain Ontology for Handover

DoS - Denial-of-service

DS - Distribution System

DTN - Delay Tolerant Network

EFA - Epidemic Forwarding Algorithm

FHS - Frequency Hopping Synchronization

FO - Forwarding Object

FOAF - Friend of a Friend

GGSN – Gateway GPRS Support Node

GPRS - General Packet Radio Service

GSM - Global System for Mobile Communication

GUID - Globally Unique Identifier

HA – Home Agent

HLR - Home Location Register

IE – Information Elements

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

IETF - Internet Engineering Task Force

IMSI – International Mobile Subscriber Identity

IMT - International Mobile Telecommunications

ISDN - Integrated Service Digital Network

ITU - International Telecommunications Union

ITU-T - International Telecommunications Union – Telecommunication Standardization Sector

MAC - Media Access Control

MANET - Mobile Ad-hoc Network

MICS - Media Independent Command Service

MIES - Media Independent Event Service

MIH - Media Independent Handover

MIHF - Media Independent Handover Function

MIIS - Media Independent Information Service

MIMO - Multiple-input multiple-output communications

MPLS - Multi-potocol label switching

MS – Mobile Station

MSC - Mobile Switching Center

NAT - Network Address Translation

NGI - Next Generation Internet

NGN - Next Generation Network

NO - Name Object

OIL - Ontology Inference Layer

OML - Ontology Markup Language

OWL - Web Ontology Language

PA - Ponto de Acesso

PDA - Personal Digital Assistant

PDN – Packet Data Network

PIN - Personal Identification Number

POLIMAND - Policy Based Mobile IP Handoff Decision

PrOHand - Privacy Ontology for Handover

PROTON - Policy-based system to ROam Transparently among Overlay Networks

PS - Ponto de Serviço

PSN - Pocket Switch Network

PSTN - Public Switched Telephone Network

PUK – PIN Unblocking Key

QoE - Quality of Experience

QoS - Quality of Service

RDF - Resource Description Framework

RDFS - RDF Schema

RDQL - RDF Data Query Language

SeCOMM - Semantic Context Model

SGSN – Serving GPRS Support Node

SHOE - Simple HTML Ontology Extensions

SIM – Subscriber Identity Module

SIP - Session Initiation Protocol

SLA - Service Level Agreement

SOHand - Service Oriented Handover

SOUPA – Standard Ontology for Ubiquitous and Pervasive Applications

SPARQL - SPARQL Protocol and RDF Query Language

SUMO - Suggested Upper Merged Ontology

SWRL - Semantic Web Rule Language

TBox - Terminological Box

TBVH - Time Before Vertical Handover

UMTS - Universal Mobile Telecommunication System

URI – Unified Resource Identifier

URL – Unified Resource Locator

VLR - Visitor Location Register

W3C - World Wide Web Consortium

Web - World Wide Web

WEP - Wired Equivalent Privacy

WiFi - Wireless Fidelity

WiMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access

WINS - Windows Internet Naming Service

WLAN - Wireless Local Area Network

WMAN - Wireless Metropolitan Area Network

WPA - Wi-Fi Protected Access

WPAN - Wireless Personal Area Network

WWAN - Wireless Wide Area Network

XML - Extensible Markup Language

XMLS - XML Schema

XOL - Ontology Exchange Language

Capítulo 1 Introdução

1.1 Considerações Iniciais

Nos últimos 20 anos, muito se tem feito no desenvolvimento de tecnologias de comunicação sem fio. No que tange essas novas tecnologias, nota-se que estão se tornando a principal forma de conexão entre pessoas. É esperado que em breve um terço da população mundial usará dispositivos de acesso sem fio para se comunicar (Fitzek e Katz, 2007). Em vários países desenvolvidos, a comunicação de voz sem fio vem substituindo a infra-estrutura cabeada – e bem estabelecida para esse propósito. O número crescente de tecnologias de acesso sem fio, assim como o progressivo lançamento de dispositivos móveis, são os responsáveis por essa tendência em várias regiões do globo. A comunicação de dados está seguindo o mesmo padrão que a de voz, principalmente pelo crescimento no número de usuários que estão adotando o acesso sem fio à Internet. Somado a tudo isto, nos anos mais recentes, o conceito de Redes sem fio de Quarta Geração (*Fourth Generation* – 4G)[1] e os Sistemas de comunicação móveis têm sido intensivamente discutidos no mercado e no meio acadêmico; mesmo assim, até hoje não há um consenso no entendimento de seus significados. De maneira geral, o termo redes 4G é utilizado para descrever sistemas de comunicação sem fio de alto desempenho – vazão de dados muito alta.

Neste documento, o termo 4G é aplicado a um emaranhado de redes de comunicação sem fio de variadas tecnologias que cobre virtualmente todos os possíveis cenários de comunicação. Então podemos pensar em 4G como redes convergentes onde redes heterogêneas coexistem harmonicamente. A convergência também é aplicada aos dispositivos dos usuários e aos serviços oferecidos pelas redes. A heterogeneidade é aplicada à tecnologia de comunicação, ao domínio de gerenciamento e ao serviço oferecido.

---

[1] Os termos 4G (Fourth Generation), NGN (Next Generation Network) e NGI (Next Generation Internet) possuem o mesmo significado na área de redes sem fio convergentes.

Dessa maneira, a falta de um vocabulário comum que permita o intercâmbio de informações gerenciais entre redes 4G é um obstáculo para a implantação do modelo futuro. Plataformas que permitam a inserção da infra-estrutura atual com mudanças que visem o mínimo impacto é essencial para a adoção de um provimento de acesso ubíquo[2]. Além do mais, redes *ad hoc*[3] devem ser inseridas nessa tendência tecnológica por causa do crescimento exponencial na densidade de dispositivos móveis nas áreas urbanas de países desenvolvidos e em desenvolvimento; e pelo alto custo de implantação e manutenção das redes infra-estruturadas[4].

1.2 Um Cenário de Uso em Plataforma 4G

O cenário da Figura 1-1 ilustra um usuário móvel a caminho da casa de um amigo. O usuário sai de sua residência (Residência) acessando conteúdos na Web através de uma conexão WiFi na sua rede local. Ao se distanciar de sua casa, caminhando até o ponto de ônibus de embarque, seu dispositivo muda sua conexão para uma rede WiMax de forma transparente. Redes 4G darão suporte à mudança de ponto de acesso de forma automática e com autenticação integrada. Dentro do ônibus, o dispositivo escolhe usar a rede WiFi local do ambiente, beneficiando-se dos serviços locais oferecidos pela rede. Chegando ao ponto de ônibus de desembarque, o dispositivo móvel conecta-se a uma rede UMTS e mantém-se nessa rede até chegar à casa do amigo. Nesse momento, seu dispositivo detecta e conecta-se à rede local WiFi do amigo, a qual possui melhor taxa de transmissão de dados e acesso livre. Caso o usuário queira mostrar algumas fotos armazenadas no seu dispositivo, as redes 4G dão suporte à procura de serviços nas redes disponíveis e, ao encontrar uma conexão Bluetooth com um aparelho de TV, seleciona o serviço correto e mostra as imagens na TV, mantendo ativas as duas conexões – WiFi e Bluetooth. Ao término da visita, o usuário retorna à

---

[2] Acesso ubíquo está relacionado à computação ubíqua, onde o acesso está disponível a todo momento, em todos os lugares, de modo transparente.

[3] Rede *ad hoc* é uma rede de comunicação onde todos os terminais podem funcionar como roteadores, encaminhando de forma comunitária as comunicações advindas dos terminais vizinhos.

[4] Rede infra-estruturada é uma rede de comunicação (cabeada ou sem fio) com uma infra-estrutura dedicada ao provimento de acesso a serviços de comunicação.

sua casa à pé por uma rota onde existem redes WiFi, UMTS e WiMax. O usuário pode, desta forma, assistir a um noticiário na Web, enquanto seu dispositivo troca de pontos de acesso de forma transparente até a chegada em sua casa. As trocas de ponto de acesso podem estar relacionadas a questões técnicas (por ex., sinal fraco), questões de QoS requerida pela aplicação (por ex., largura-de banda), questões relacionadas à quantidade de recurso utilizado em uma tecnologia (por ex., bateria fraca), questões relacionadas a preferências do usuário (por ex., provedor preferido, custo para acesso), questões relacionadas à oportunidade de acesso (por ex., um provedor ou outro dispositivo com acesso livre), entre outras.

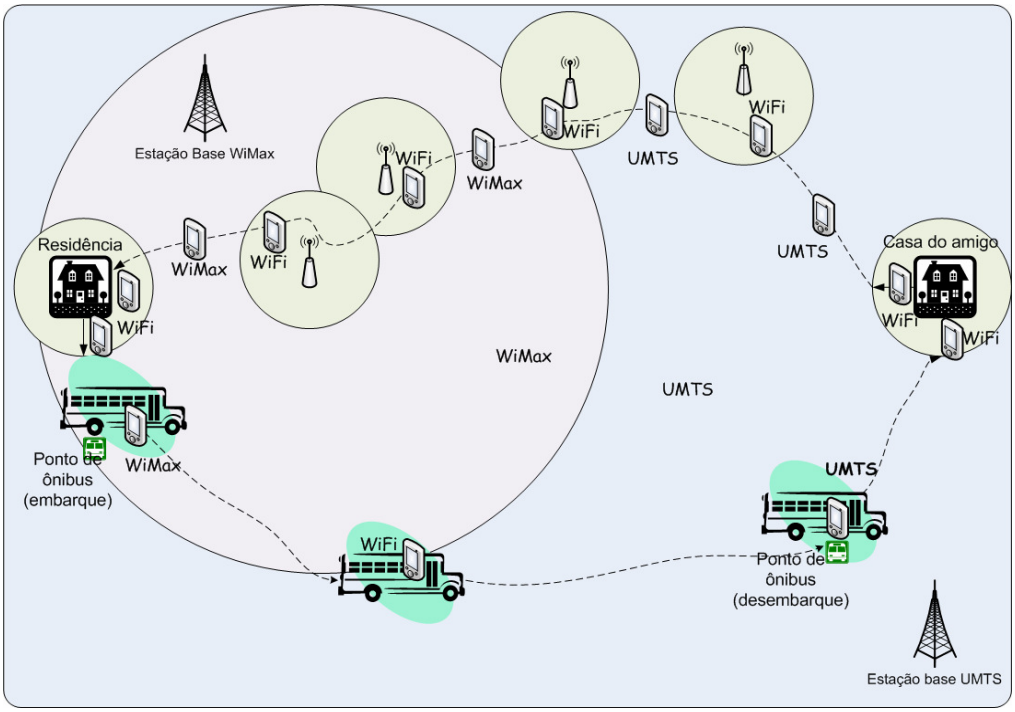


Figura 1-1 Exemplo de cenário em plataforma 4G

1.3 Motivação

Considerando que no futuro as redes de comunicação sem fio serão constituídas de uma grande variedade de redes sem fio com diferentes capacidades, tendo como componentes principais as redes de telefonia móvel de longo alcance e as redes de acesso local de banda larga, podemos concluir que as outras tecnologias serão projetadas para complementar esses dois componentes. Além do mais, a coexistência de

arquiteturas centralizadas utilizando espectros licenciados por um lado, e arquiteturas distribuídas (*ad hoc*) utilizando espectros não licenciados (abertos/livres) por outro lado, abrem oportunidades únicas, uma vez que os benefícios de cada uma dessas abordagens podem ser combinados.

No entanto, enquanto nas arquiteturas centralizadas as redes de telefonia móvel são atualmente as redes de acesso por excelência – tanto pelo número de usuários quanto pelo tamanho do negócio – nas arquiteturas distribuídas, as redes *ad hoc*, apesar dos esforços em pesquisa e em desenvolvimento, estão longe de atingir esse sucesso. Segundo Fitzek e Katz (2006), a lentidão na utilização das redes *ad hoc* pode ser atribuída ao fato das pesquisas não considerarem a utilização dessas redes de forma integrada com as redes infra-estruturadas.

Dito isso, no âmbito global, para a coexistência de redes 4G com comunicação infra-estruturada heterogênea, e para a cooperação entre estas, um novo modelo de negócio deve surgir para a negociação entre usuários e redes provedoras de serviço (acesso e/ou conteúdo). Para esse tipo de modelo, foram instanciados neste trabalho os conceitos de um modelo, chamado Y-Comm[5], para redes sem fio, que permite a mobilidade de usuários entre redes através da comunicação com uma entidade moderadora - *broker*[6].

Por outro lado extremo de comunicação, devido ao crescimento na densidade de dispositivos móveis em vários cenários de comunicação sem fio, um dado dispositivo poderá ser utilizado como um nó constituinte de uma rede *ad hoc* de curto alcance que inclui dispositivos situados na vizinhança. As redes *ad hoc* não foram tratadas neste trabalho de forma isolada, mas sim com relacionamentos mútuos e concretos com outras redes sem fio com infra-estrutura dedicada, inclusive redes de telefonia móvel. Para esse cenário, foi escolhido para este trabalho um modelo para redes *ad hoc* denominado

---

[5] Y-Comm Project: http://www.mdx.ac.uk/eis/research/groups/YComm.asp

[6] Broker é uma entidade que faz o intermédio e a negociação entre o usuário do acesso ao serviço e o provedor do serviço.

Haggle[7] que explora a possível sinergia entre as redes *ad hoc* e as redes de comunicação infra-estruturadas.

No âmbito local e/ou regional, o grupo de pesquisa do qual a autora deste trabalho faz parte investiga um modelo denominado SOHand[8] (*Service Oriented Handover*) que dispensa a figura da entidade moderadora e possibilita a negociação direta entre usuários e redes de acesso em plataformas 4G. Esse modelo foi a base de estudo inicial deste trabalho. Porém, com o aprofundamento na investigação da problemática de comunicação integrada em redes 4G, os modelos Y-Comm e Haggle foram incorporados ao desenvolvimento da solução proposta.

Desta forma, as motivações que estimularam o desenvolvimento deste trabalho, e que estão relacionadas às características das redes 4G são:

- Os usuários possuirão maior controle nas suas interações com a rede (Patanapongpibul et al., 2006);
- Algumas informações contextuais sobre a vizinhança, o usuário, a aplicação, e a rede serão dinamicamente coletadas e, eventualmente, compartilhadas com outros usuários e provedores de serviços (acesso e/ou conteúdo) (Moreira et al., 2007);
- Os relacionamentos entre os usuários e os provedores de serviços serão também baseados na qualidade da experiência vivenciada pelo usuário durante a utilização de um serviço – QoE[9] - *Quality of Experience* –, informação muito importante que o usuário poderá ou não compartilhar (Li-yuan et al., 2006);
- As trocas de pontos de acesso cientes de contexto, com soluções baseadas em políticas[10], podem oferecer suporte à mobilidade adequada em

[7]Haggle Project: http://www.haggleproject.org/index.php/Main_Page

[8] SOHand Project: http://www.sohand.icmc.usp.br/

[9] QoE – *Quality of Experience* – também conhecida com *Quality of User Experience*, ou seja, a qualidade da experiência do usuário, é uma medida subjetiva da satisfação do usuário com relação a um serviço utilizado.

[10] Uma política é escrita como um conjunto de regras, e guia a execução de um comando.

plataformas ubíquas, por tratar a complexidade e o dinamismo impostos por esses ambientes (Vidales, 2005);

- Redes *ad hoc* podem, eventualmente, fazer parte da cadeia de provedores, demandando estratégias de gerenciamento mais flexíveis e com maior interação entre as entidades envolvidas (Scott et al., 2006).

A motivação para o uso de ontologia nas redes 4G é baseada nas pesquisas em gerenciamento de serviços em ambientes ubíquos que destacam a necessidade de um entendimento comum entre os vários modelos de negócio dos provedores na cadeia de acesso ao serviço, durante a mobilidade do usuário. Os trabalhos de Vidales (2005), Kagal et al. (2002), Fano e Gershman (2002), Lopez de Vergara et al. (2003), Stojanovic et al. (2004), Lera et al. (2006), Bandara et al. (2005), Charalambides et al. (2005), Pongpaibool e Kim (2004), Howartha et al. (2006), e Chen e Finin (2003), relacionados a gerenciamento de infra-estrutura de TI, mostraram a ausência de semântica, formalização e normalização dos conceitos de gerenciamento entre sistemas pertencentes a redes distintas, e a complexidade crescente desse gerenciamento cada vez que um novo aspecto é considerado.

Na fase de validação, dois protótipos de serviços para modelos de plataformas 4G utilizaram e especializaram as ontologias desenvolvidas.

1.4 Objetivos e Contribuições

O objetivo geral deste trabalho é a elaboração de mecanismos conceituais para integração de conceitos utilizados pelas entidades envolvidas no acesso e provimento de serviços em redes 4G. Esses mecanismos fornecem um vocabulário comum de conceitos normalizados e formalizados com semânticas explícitas, descrito de forma abstrata em ontologias. As ontologias desenvolvidas podem ser instanciadas na comunicação entre as entidades, utilizadas por agentes de software e interpretadas por máquinas de inferências. Adicionalmente, esta solução auxilia no desenvolvimento de plataformas 4G, e na transparência operacional de serviços, criando uma camada de abstração acima da heterogeneidade do ambiente. Os objetivos específicos são:

- Investigação de conceitos envolvidos no gerenciamento dos serviços oferecidos pelas plataformas 4G;

- Estabelecimento de uma estrutura padronizada para normalizar e representar esses conceitos, através do desenvolvimento de um conjunto de ontologias que auxilie na comunicação dinâmica e integrada de todos os participantes - usuários, provedores e mediadores;
- Realização de mapeamento automático das informações sobre gerenciamento de redes 4G - de forma abstrata, contínua e integrada - que impactem diretamente na experiência do usuário;
- Apresentação de um ambiente para a consolidação de terminologias de uso comum e da formalização do conhecimento, na área de gerenciamento, entre os provedores de serviços de comunicação e os usuários de serviços;
- Auxílio a serviços que tenham ciência de informações contextuais, incorporadas dinamicamente na medida em que o usuário se move;
- Apoio ao usuário para uma participação mais ativa no processo de aferição da qualidade dos serviços que contrata;
- Demonstração do uso de ontologias como facilitador de compartilhamento e reúso de conhecimento em redes 4G;
- Modelagem de serviços em plataformas 4G a partir de especializações das ontologias desenvolvidas.

Este trabalho mostra os benefícios da formalização e normalização de conceitos relacionados a redes 4G, com inserção de semântica nesse processo, através do uso de ontologias[11]. O conjunto de ontologias desenvolvido neste trabalho normaliza os conceitos empregados em redes de comunicação e nos modelos integradores escolhidos, de forma a auxiliar no desenvolvimento de plataformas 4G, e no gerenciamento dinâmico e integrado do ambiente heterogêneo das redes.

Outra contribuição deste trabalho é mostrar como o uso de ontologias em plataformas 4G facilita a inserção de novos serviços nos ambientes integrados.

---

[11] Ontologia é uma tecnologia que permite a abstração dos conceitos concretos e inclusão de relacionamentos entre estes conceitos (semântica), e pode ser descrita em uma linguagem interpretada por computadores e máquinas de inferência.

1.5 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: o Capítulo 1 apresenta o cenário de uso de plataformas 4G, a motivação e os principais objetivos deste trabalho. Os Capítulos 2 e 3 apresentam, respectivamente, as principais tecnologias de redes sem fios e principais conceitos de redes 4G. O Capítulo 4 descreve três modelos de referência para redes 4G e o modelo de integração do trabalho, enquanto o Capítulo 5 descreve a tecnologia Ontologia. O Capítulo 6 apresenta as ontologias modeladas para redes 4G neste trabalho com base nos modelos apresentados, a passo que o Capítulo 7 discorre sobre a validação das ontologias desenvolvidas e o ambiente sugerido para distribuição e compartilhamento das ontologias desenvolvidas. O Capítulo 8 finaliza a tese com as contribuições e trabalhos futuros.

1.6 Considerações Finais

As redes sem fio atuais estão convergindo para uma comunicação integrada denominada redes 4G. Vários grupos isolados como o 3GPP[12] e o 3GPP2[13], estão desenvolvendo modelos para integrar suas famílias de tecnologias de redes sem fio. Outros grupos como o IEEE 802.21[14] trabalham na integração de suas famílias de tecnologia sem fio com outras tecnologias. Os sistemas de comunicação sem fio futuros estão sendo projetados com ferramentas de análise baseadas em sistemas de sensores locais e de maior abrangência para interpretar as observações do ambiente e adaptar, de forma flexível, a rede ao dinamismo do sistema de comunicação (Fitzek e Katz, 2007). A evolução dessas redes levará a novas tecnologias com capacidade avançada de inferência - explorando dados de sensores -, com sinalização significativa entre os componentes das redes; e com as experiências obtidas em interações anteriores, será possível compreender de forma consistente e automática o estado atual da rede. Nessa direção, será essencial o uso de tecnologias para a formalização, a normalização de

[12] 3GPP Project: http://www.3gpp.org/

[13] 3GPP2 Project: http://www.3gpp2.org

[14] Media Independent Handover Services, IEEE 802.21 Group. http://www.ieee802.org/21/

conceitos, e para o fornecimento de informações semânticas que permitam inferências de novas proposições.

Capítulo 2 Tecnologias Complementares para Redes sem Fio

2.1 Considerações Iniciais

Redes de comunicação sem fio (*wireless*) são redes de computadores e de telecomunicação que utilizam ondas eletromagnéticas para transmitir informações pelo meio ar (Tanenbaum, 2002). A tecnologia sem fio é um paradigma revolucionário que possibilita a melhoria e o surgimento de novos serviços. Várias aplicações como rede de sensores, casas inteligentes, telemedicina e rodovias automatizadas têm avançado por causa dessa tecnologia.

Este capítulo tem como objetivo descrever as tecnologias complementares[15] quanto ao alcance e à utilização de redes sem fio mais utilizadas em Redes Pessoais sem Fio (WPAN), Redes Locais sem Fio (WLAN), Redes Metropolitanas sem Fio (WMAN), e Redes de Telefonia Móvel (Celular) ou Redes de Longo Alcance sem fio (WWAN).

2.2 Tecnologias de Redes Sem Fio de Maior Aceitação em Redes Pessoais, Locais, Metropolitanas e de Celulares.

A Figura 2-1 ilustra o desenho atual das redes de comunicação sem fio pela perspectiva do serviço de cobertura (alcance). Dois componentes são destacados, as redes de longo alcance por um lado e as redes de curto alcance por outro lado. Curiosamente, o desenvolvimento das redes de comunicação sem fio segue a ordem de evolução segundo o alcance das mesmas, das de maior alcance para as de menor alcance. Algumas razões podem ser atribuídas ao desenvolvimento crescente de redes de menor alcance, entre estas a pressão na utilização de faixas de freqüências não utilizadas, tipicamente freqüências altas do espectro, e a demanda por maior taxa de transferência de dados. De maneira geral, esses dois componentes foram desenvolvidos

[15] Tecnologias complementares são tecnologias de redes que não são concorrentes, ou seja, não disputam o mercado dentro de um mesmo cenário.

de maneira independente um do outro, mas com o objetivo de projeto de coexistirem.

Tecnologias em alcances diferentes são geralmente vistas como complementares, onde cada rede é utilizada em um cenário específico ou para uma aplicação particular. Heterogeneidade e convergência de redes, de terminais e de serviços serão no futuro as principais características das redes sem fio. Essas características, no entanto, apesar dos desafios técnicos no desenvolvimento de novas redes, trarão novas oportunidades a serem exploradas (Fitzek e Katz, 2007).

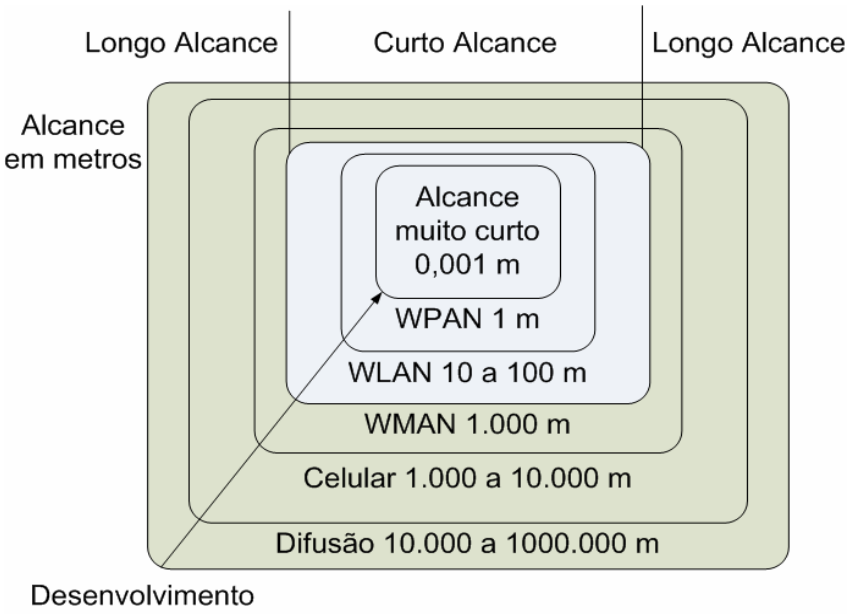


Figura 2-1 - Alcance das redes sem fio e a ordem histórica de desenvolvimento (adaptado de Fitzek e Katz, 2007)

O ideal seria a existência de uma tecnologia de rede com escalabilidade verdadeira e agilidade na freqüência, a tal ponto de atender todas as aplicações de curta e longa distância (Cookley, 2004). Pelo fato dessa tecnologia não existir, são desenvolvidas tecnologias para tipos de redes complementares, como as redes pessoais sem fio (*wireless personal area networks* – WPAN), redes locais sem fio (*wireless local area networks* – WLAN), redes metropolitanas sem fio (*wireless metropolitan area networks* – WMAN) e redes de telefonia móvel (celular) ou WWAN (*wireless wide area network*).

A seguir são descritas as tecnologias de rede sem fio de maior aceitação ou em adoção crescente para as redes WPAN, WLAN, WMAN e Celular. As redes de difusão e as redes de muito curto alcance não fazem parte do escopo deste trabalho.

2.3 Tecnologia Bluetooth para Redes Pessoais

Bluetooth é o nome associado ao padrão IEEE 802.15[16], aberto para redes pessoais sem fio - WPAN. Esse padrão descreve como conectar, e trocar dados e voz entre dispositivos, como telefones celulares, computadores portáteis, computadores de mesa, impressoras, câmeras digitais, receptores de GPS e consoles de videogames digitais, através de uma banda de freqüência de rádio de curto alcance de 2,4 GHz, globalmente não licenciada (aberta) e segura. A tecnologia de rádio utilizada por esse padrão é denominada "salto de freqüência de espalhamento espectral" (*frequency-hopping spread spectrum*), a qual corta em pequenos pedaços o dado a ser enviado e o transmite em blocos utilizando até 79 portadoras escolhidas aleatoriamente. Sua taxa de transmissão pode chegar a 1 Mbps. Os grupos de interesse para esse protocolo consistem em empresas nas áreas de telecomunicação, computação pessoal, redes sem fio e consumidores de eletrônicos (McDermott-Wells, 2005).

Os dispositivos que utilizam Bluetooth podem ser classificados, de acordo com a potência e alcance da rede, em três níveis: classe 1 com potência de 100 mW e alcance de até 100 m, classe 2 com potência de 2,5 mW e alcance até 10 m, e classe 3 com potência de 1 mW e alcance de 1 m. A maioria dos dispositivos, no entanto, se enquadra na classe 2, e são utilizados em redes de comunicação pessoais sem fio. Na Figura 2-2, nota-se como é feita a comunicação entre dispositivos utilizando o padrão 802.15; um dispositivo comporta-se como mestre e os outros como escravos, o dispositivo mestre pode receber conexões de até 7 dispositivos escravos ao mesmo tempo formando uma *piconet*. Duas ou mais *piconets* podem ser conectadas através de um dispositivo Bluetooth comum (um *gateway* ou uma *bridge*) para formar uma *scatternet* (Cordeiro et al., 2003) (Olifer e Olifer, 2006). As piconets conectadas na forma de *scatternet* podem

[16] IEEE 802.15 Working Group for WPAN. http://www.ieee802.org/15/

formar um *backbone* para Redes Móveis *Ad-hoc* (MANET[17] - *Mobile Ad-hoc Network*), possibilitando que dispositivos que não estejam se comunicando diretamente (dentro do alcance um do outro), possam trocar informações através de vários pulos (*hops*) em uma *scatternet* (McDermott-Wells, 2005).

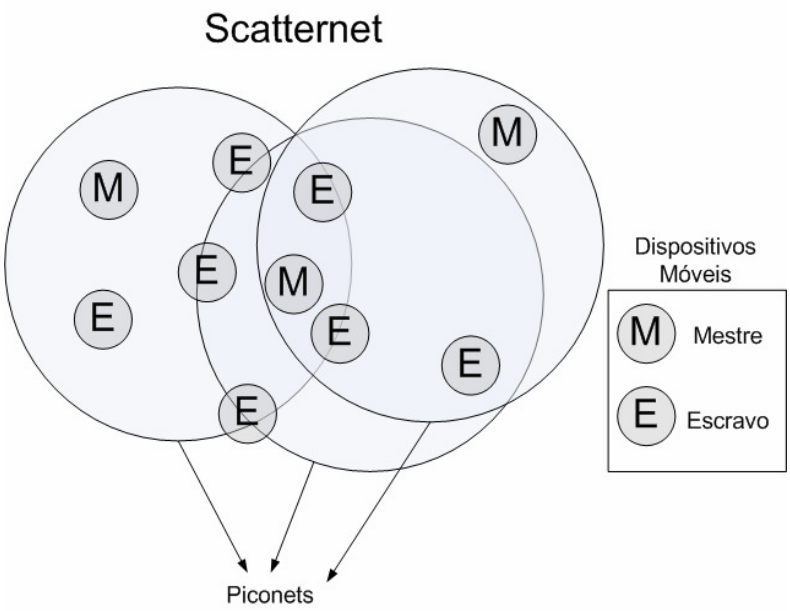


Figura 2-2- Comunicação entre dispositivos usando o padrão 802.15 (adaptado de Cordeiro et al., 2003)

2.3.1 Mecanismo de autenticação em Bluetooth

O mecanismo de autenticação em redes Bluetooth é simples e baseado no dispositivo, não na identidade do usuário. O que determinará a anuência será a confiabilidade no dispositivo. O processo de autenticação entre dois dispositivos para uma conexão Bluetooth pode ser feita pela identificação da interface ou por código gerado pelo dispositivo ou pelo usuário. A Figura 2-3 ilustra o processo de autenticação entre dispositivos para uma conexão Bluetooth.

---

[17] MANET - *Mobile Ad-hoc network*, também conhecida como *Mobile Mesh Network*, é uma rede auto-configurável de dispositivos conectados por *links* sem fio.
http://www.ietf.org/dyn/wg/charter/manet-charter.html

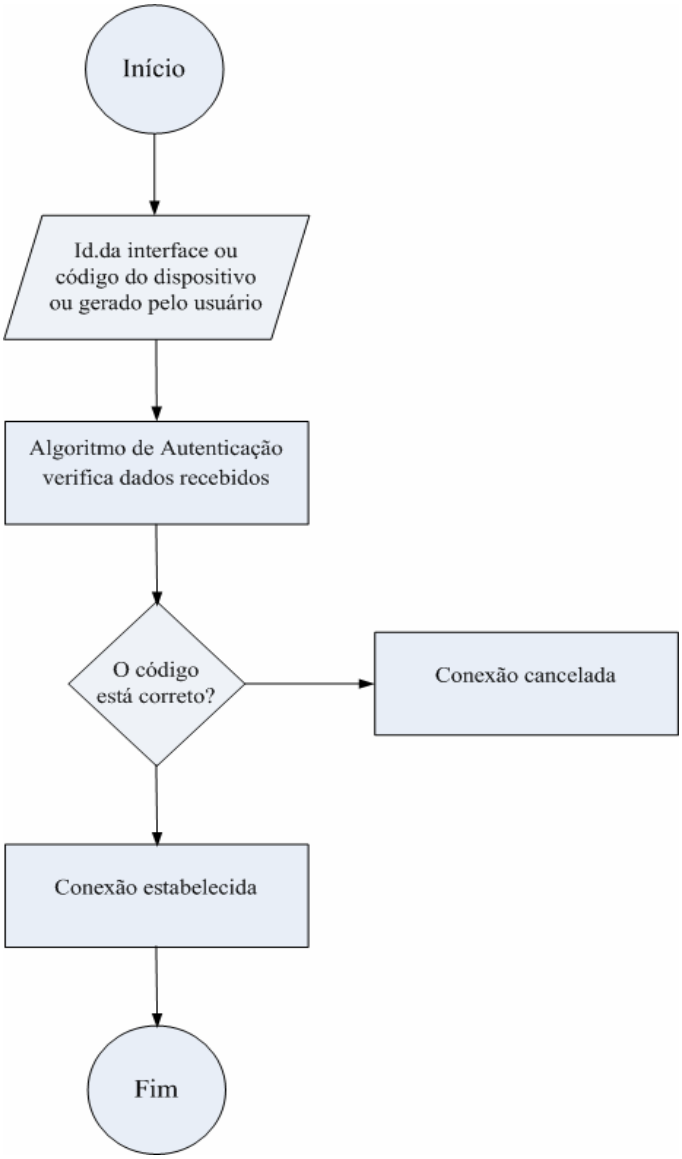


Figura 2-3 Processo de autenticação no Bluetooth (adaptado de Suri e Rani, 2008)

Para um entendimento mais detalhado, os serviços de Requisição e *Paging* disponíveis na tecnologia Bluetooth são descritos a seguir:

Procedimento de Requisição. Esse procedimento possibilita que o dispositivo descubra os dispositivos que estão ao seu alcance. Isto envolve a unidade origem enviando pacotes de requisição (ID - código de acesso para requisição) e recebendo um pacote de resposta à requisição. O unidade destino que recebe os pacotes de requisição estará no estado de varredura de requisições para receber pacotes de requisições. A unidade destino entrará no estado de resposta à requisição e enviará uma resposta à

unidade origem com um pacote FHS (*Frequency Hopping Synchronization*) para o sincronismo da freqüência de conexão. Após esse procedimento as unidades podem estabelecer uma conexão através do procedimento de *paging*.

Procedimento de *Paging*. Através desse procedimento, uma conexão real pode ser estabelecida. Somente os endereços Bluetooth dos dispositivos são necessários - cada interface Bluetooth possui um número único de 48 bits que determina o endereço Bluetooth do dispositivo. A unidade que iniciou o processo de requisição iniciará também o procedimento de *paging* e será o dispositivo mestre na conexão. O dispositivo mestre envia outro pacote ID com o código de acesso do dispositivo. Esse código é recebido pelo escravo que se encontra no estado de varredura de *page*, passando para o estado de resposta e respondendo com um pacote ID contendo o seu código de acesso. O mestre confirma a freqüência de conexão com os parâmetros do canal de comunicação. Desta forma, uma conexão é estabelecida, pacotes de POLL e NULL são enviados do mestre para o escravo, sendo que o primeiro tipo espera por uma resposta.

2.3.2 Principais Aplicações, Limitação e Vantagens.

Muitas são as aplicações atuais do padrão 802.15, entre elas podemos citar como principais (Peterson e Davie, 2007)(Tanenbaum, 2002):

- Controle e comunicação sem fio entre aparelhos celulares e fone de ouvido ou sistemas de viva-voz;
- Comunicação sem fio entre computadores em um espaço reduzido, onde pouca largura de banda é necessária;
- Comunicação sem fio entre computador e dispositivos de entrada e saída, como mouse, teclado e impressora;
- Troca de dados entre dispositivos, como transferência de arquivos, detalhes de contatos, compromissos de agenda, e lembretes;
- Substituição de comunicação serial cabeada em receptores de GPS, equipamentos médicos e leitores de código de barras;
- Substituição de comunicação com tecnologia de infravermelho;
- Envio de pequenos anúncios de disponibilidade a outros dispositivos;
- Comunicação sem fio entre controles de videogame e consoles;

- Acesso discado à Internet em um computador pessoal ou PDA usando um celular como modem.
- Recebimento de conteúdo comercial via um quiosque, como em um cinema, supermercado ou shopping.

Principal limitação: a comunicação entre dispositivos deve ser direta, e a mobilidade de um terminal ativo com outro dispositivo não é permitida.

Principais vantagens: permite a transmissão de dados e voz, baixo custo de utilização/instalação e baixo consumo de energia.

2.4 Tecnologia Wi-Fi para Redes Locais

Wi-Fi é o nome associado à família do padrão IEEE 802.11[18]. Assim como o padrão 802.15, esse padrão opera em faixas de freqüências que não necessitam de licença para instalação e operação. Suas faixas de freqüência são 2,4GHz, 3,6GHz e 5 GHz. Quando em 2,4 GHz, os padrões Bluetooth e Wi-Fi usam a mesma freqüência de transmissão no espectro espalhado não licenciado, porém uma não interfere na outra por empregarem esquemas de multiplexagem diferentes. As aplicações do padrão 802.11 diferem do padrão 802.15 quanto à utilização da rede e a mobilidade do usuário. Wi-Fi oferece alta potência de transmissão e cobre distâncias maiores, oferecendo redes sem fio locais (WLAN).

Os principais componentes físicos de uma rede Wi-FI - Figura 2-4 - são descritos a seguir.

[18] http://www.ieee802.org/11/index.shtml

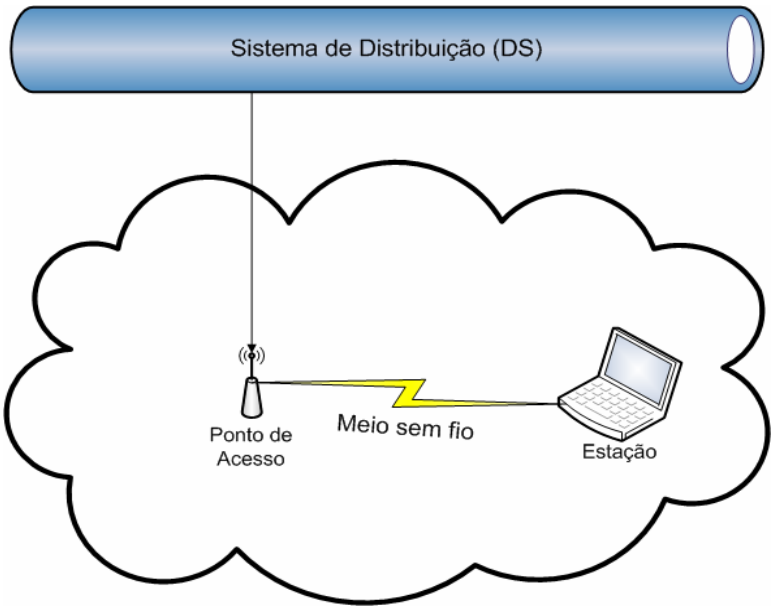


Figura 2-4 Componentes físicos de uma rede 802.11 no modo infraestruturada

- Ponto de Acesso (AP - *Access Point* ou *hotspot*): é a ponte entre a rede sem fio e a rede cabeada, transmitindo e recebendo os sinais de rádio pelo meio ar;
- Sistema de Distribuição (DS - *Distribution System*): consiste de uma rede cabeada, geralmente Ethernet, responsável por fornecer acesso ao restante da rede e à Internet;
- Meio sem fio: é o meio físico ar, usado para a transmissão dos quadros de dados entre estações e pontos de acesso;
- Estações: são os dispositivos computacionais com interfaces de rede sem fio. Por exemplo, computadores portáteis, PDAs, computadores de mesa e aparelhos celulares.

Para se ter acesso a uma rede Wi-Fi é preciso estar na área de abrangência de um ponto de acesso, no modo infra-estruturada, ou de um dispositivo com interface ligada, no modo *ad hoc*.

No modo *ad hoc*, as estações podem se comunicar umas com as outras em conexões ponto-a-ponto, de modo a compartilhar dados sem a necessidade de um ponto de acesso. No modo infra-estruturado, várias estações podem se comunicar entre si ou à Internet por meio de um AP, que normalmente está conectado à rede cabeada tradicional (Ethernet). O ponto de acesso identifica cada cartão sem fio das estações

pelo respectivo endereço MAC (*Media Access Control*), cujo valor é gravado pelo fabricante durante o processo de manufatura.

O padrão IEEE 802.11, ou família 802.11, é dividido em vários padrões que variam em velocidade e freqüência utilizada, conforme mostra a Tabela 2-1.

Tabela 2-1Comparação entre padrões 802.11

Padrão	Velocidade	Freqüência
802.11	1 Mbps e 2 Mbps	2,4 GHz
802.11a	Até 54 Mbps	5 GHz
802.11b	Até 11 Mbps	2,4 GHz
802.11g	Até 54 Mbps	2,4 GHz
802.11n	Até 300 Mbps	2,4 e 5 GHz

2.4.1 Mecanismo de autenticação e associação.

A autenticação na tecnologia 802.11 não é mútua, o que significa que somente o ponto de acesso autentica a estação cliente e não vice-versa. Portanto, não há criptografia nesse nível. Esse passo é necessário para que a estação se identifique antes de enviar pacotes de dados. Isto ocorre toda vez que uma estação conecta-se a uma rede.

Quando a autenticação é feita através de chave compartilhada, há uma verificação do quadro criptografado enviado pela estação cliente ao AP. Três tipos de chaves de autenticação são possíveis em ambientes com 802.11: *Wired Equivalent Privacy* (WEP), *Wi-Fi Protected Access* (WPA), e *Wi-Fi Protected Access 2* (WPA2). Quando o sistema é aberto, não existe a necessidade de chave de autenticação.

Entretanto, a autenticação é necessária antes de uma associação ser estabelecida (IEEE 802.11, 2007). No processo de associação, a estação cliente solicita uma associação, enviando o seu endereço MAC e suas restrições técnicas. O AP pode aceitar ou não. Em caso afirmativo retorna o identificador da associação (*Association Identifier* - AID). Cada interface 802.11 da estação cliente pode associar-se a um AP por vez.

A Figura 2-5 mostra de forma simplificada o processo de autenticação e associação em uma rede Wi-Fi.

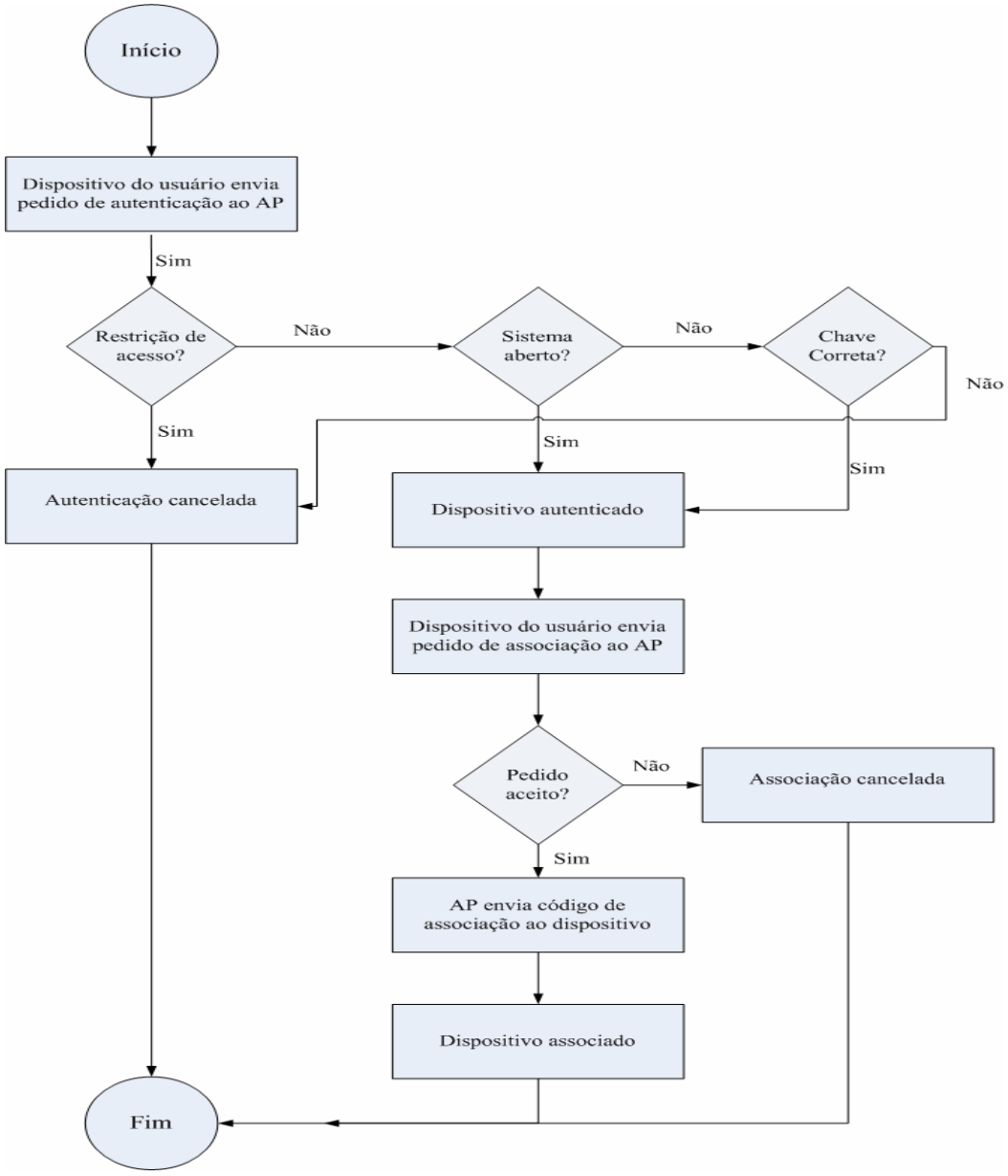


Figura 2-5 Processo de autenticação e associação entre um dispositivo do usuário e um AP

Para um entendimento mais detalhado, os nove serviços definidos pelo padrão 802.11 e divididos em duas categorias – cinco serviços de distribuição e quatro serviços da estação – devem ser explicados.

Os serviços de distribuição estão relacionados ao gerenciamento da célula de responsabilidade do AP e a interação com estações fora da célula de atuação (IEEE 802.11, 2007). Por outro lado, os serviços das estações estão relacionados à atividade em uma única célula (intra-célula).

Os cinco serviços de distribuição são oferecidos pelos pontos de acesso e tratam a mobilidade das estações clientes, uma vez que as estações podem entrar e sair das células, associando-se a APs e desassociando de APs. Esses serviços são os seguintes:

Associação. Esse serviço é utilizado por estações clientes móveis para conectarem-se a um AP. Tipicamente, é empregado logo após a estação autenticar-se no AP. A estação envia a sua identidade e suas capacidades. Suas capacidades incluem a taxa de dados aceitas, a necessidade de serviços como *polling*, e os requisitos de gerenciamento de energia. O AP deve aceitar ou rejeitar a estação cliente

Desassociação. Ocorre quando a estação ou o AP necessita desassociar-se, desta forma interrompendo o relacionamento. A estação deve usar esse serviço antes de desligar-se ou sair da célula, mas o AP pode também usar esse serviço antes de parar seu funcionamento por algum motivo, por exemplo, manutenção.

Reassociação. Uma estação pode trocar de AP de sua preferência utilizando esse serviço. Esse recurso é útil para estações móveis que mudam de uma célula para outra. Se utilizado de forma correta, nenhum dado será perdido em decorrência de uma mudança de AP.

Distribuição. Esse serviço determina como rotear quadros enviados ao AP. Se o destino é local ao AP, o AP pode enviar os quadros diretamente pelo meio ar. Caso contrário, os quadros devem ser encaminhados pela rede cabeada.

Integração. Se um quadro precisa ser enviado através de uma rede com outra tecnologia que utilize um esquema de endereçamento ou formato de quadros diferentes, esse serviço lida com a tradução do formato 802.11 para o formato requerido pela rede destino.

Os outros quatro serviços do padrão são relacionados a ações dentro da mesma célula (intra-célula). Esse serviços estão descritos a seguir:

Autenticação. Por causa da característica da comunicação sem fio, onde estações não autorizadas podem facilmente enviar ou receber dados pelo meio ar, uma estação deve autenticar-se antes de ser autorizada a enviar dados. Antes de uma estação móvel associar-se a um AP, isto é, ser aceita dentro da célula, o AP envia um quadro especial de teste para verificar se a estação móvel conhece a senha (chave de acesso) que está relacionada ao AP. A confirmação da estação móvel consiste em criptografar o quadro de teste com a chave de acesso e encaminhar ao AP em questão. Se o resultado estiver correto, a estação móvel pode iniciar o processo de associação.

Desautenticação. Quando uma estação deseja deixar a rede a qual está autenticada, utiliza esse serviço e não poderá mais usar a rede até autenticar-se e associar-se novamente.

Privacidade. Esse serviço gerencia a criptografia e a descriptografia das informações enviadas pela WLAN, com o intuito de mantê-las confidenciais.

Entrega de dados. O serviço de transmissão de dados do padrão 802.11 é baseado no padrão Ethernet. Assim como na Ethernet, o serviço não é totalmente confiável. Por essa razão, as camadas mais altas devem tratar detecção e correção de erros.

2.4.2 Principais Aplicações, Limitações e Vantagens.

As principais aplicações do padrão 802.11 são:

- Comunicação sem fio entre dispositivos móveis;
- Comunicação sem fio entre dispositivos móveis e redes cabeadas;

Principais limitações: baixa taxa de transmissão se comparada à rede cabeada (Ethernet), alcance limitado, alto consumo de energia.

Principais vantagens: instalação menos custosa que as redes cabeadas, suporte à mobilidade do usuário.

2.5 Tecnologia WiMax para Redes Metropolitanas

A tecnologia WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) foi padronizada pelo grupo IEEE 802.16[19]. Essa rede foi originalmente concebida como uma tecnologia para última milha (Peterson e Davie, 2007). Neste caso, o alcance fica entre 1 a 6 milhas, com alcance máximo de 30 milhas (aproximadamente 50 km), o que classifica WiMax como WMAN. Durante sua concepção, o padrão não incorporou mobilidade na sua descrição, porém essa preocupação é tratada no padrão IEEE 802.16e. Dentro do nicho de última milha, os sistemas clientes dessa tecnologia, são chamados de estações assinantes (*subscriber*), e não se supõe que sejam dispositivos de usuários, mas sim sistemas que multiplexam todas as comunicações de dispositivos computacionais de um determinado prédio. Essa tecnologia provê até 70 Mbps a uma estação assinante.

Pela necessidade de maior largura de banda, esse modelo demandou mais espectro do que as bandas não licenciadas, utilizadas pelo padrão 802.15 e 802.11, podiam fornecer. A primeira versão (2001) do IEEE 802.16 especificou uma faixa de freqüência de 10 a 66 GHz para operar. A segunda versão, denominada IEEE 802.16a-2003, incluía freqüência no intervalo de 2 GHz a 11 GHz, e suporte a redes Mesh (redes sem fio *ad hoc* fixas). Em 2004 foi lançada uma extensão do padrão denominado 802.16d, ainda sem suporte a mobilidade. Em 2005 foi oficializada a versão IEEE 802.16e, com suporte à mobilidade e por essa razão também conhecida como *Mobile WiMAX*. Essa versão apresenta benefícios potenciais em termos de cobertura, consumo de energia, reúso de freqüência e eficiência de largura de banda (Sim et al., 2009). O padrão 802.16e utiliza o intervalo de freqüência de 2GHz a 6 GHz e não inclui modo Mesh, uma vez que redes Mesh são configuradas em cenários onde os nós são fixos (Li et al., 2007).

A topologia de uma rede Mobile WiMAX é desenhada para prover uma Rede Sem Fio Metropolitana para sistemas móveis e fixos de redes de acesso à Internet, com alta taxa de transmissão de dados. Essa convergência é possível por causa do reúso de

[19] http://standards.ieee.org/getieee802/802.16.html

uma interface de comunicação comum, e uma arquitetura de rede flexível que dê suporte a redes sem fio e fixas (Taaghol et al., 2008).

A Figura 2-6 descreve a arquitetura Mobile WiMax que consiste da rede de serviços de acesso (ASN – *Access Services Network*) e da rede de serviços de conectividade (CSN – *Connectivity Services Network*). Os elementos do núcleo da rede no ASN são as estações base (BS – *Base Station*) e os *gateways* ASN (ASN-GW), conectados através de uma nuvem IP. O ASN-GW fornece suporte a requisitos de segurança, contabilização de tráfego, suporte e gerenciamento da mobilidade para as estações móveis (MS – *Mobile Station*) . O agente local do IP móvel (HA – *Home Agent*) na CSN é utilizada para dar suporte à mobilidade global. O tráfego de dados do usuário é "tunelado" na nuvem IP como um "payload" entre a BS e o ASN-GW. A autenticação em Mobile WiMax é feita através da troca de uma chave-privada entre o MS e a BS. WiMax possibilita dois tipos de autenticação: no nível do dispositivo e no nível do usuário. A autenticação é feita através de um arcabouço de autorização AAA[20] com o protocolo de acesso RADIUS[21]. O ASN-GW possui um cliente AAA, e a rede de autorização AAA permite que a rede do usuário autentique o cliente. Vários cenários de mobilidade podem ser aceitos, incluindo intra-ASN-GW, inter-ASN-GW, e mobilidade gerenciada pela CSN. Quando os MS movem-se pelas BS, estes devem ser gerenciados por um ASN-GW específico.

[20] http://www.isi.edu/in-notes/rfc2904.txt

[21] http://www.gnu.org/software/radius/

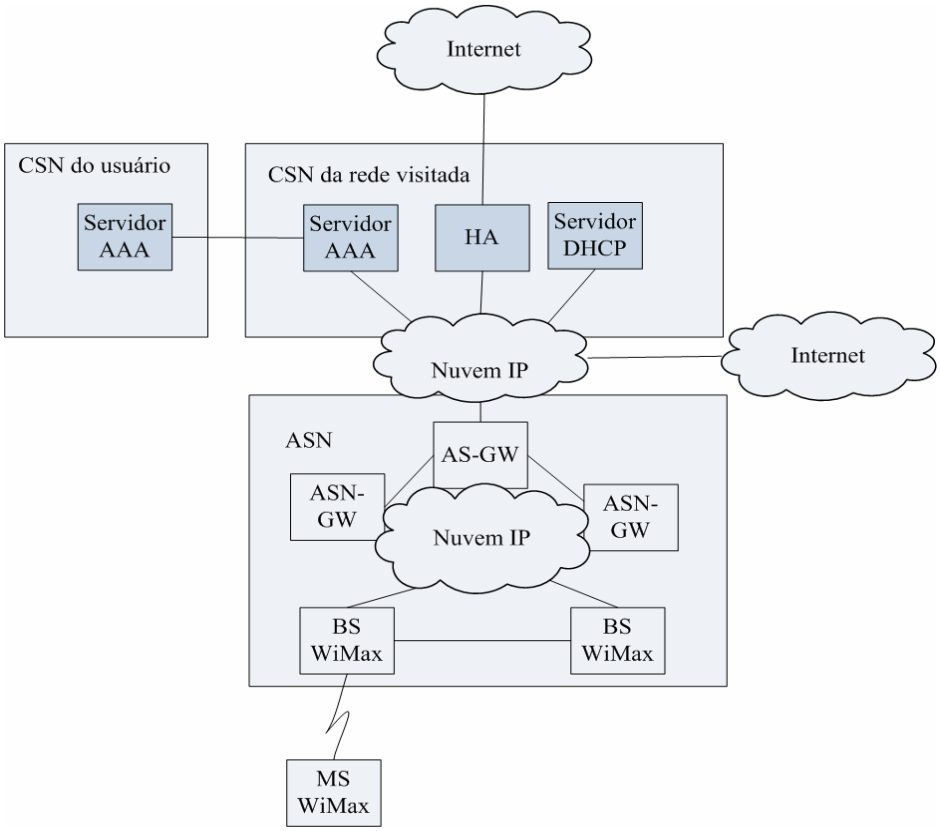


Figura 2-6 Arquitetura de uma rede Mobile WiMax (adaptado de Taaghol et al., 2008)

Diferentemente das redes de telefonia 3G - descritos na próxima subseção - que evoluíram de sistemas de comunicação de voz, o padrão 802.16 foi projetado para atender aos requisitos de sistemas de comunicação de dados para serviços de dados de banda-larga, inclusive serviço de voz (Mobile WiMAX, 2006).

Algumas características tratadas pelo Mobile WiMAX são:

- alta taxa de transferência de dados: com a utilização de técnicas de antena MIMO (Múltiplas Entradas Múltiplas Saídas) com esquemas de subcanais flexíveis e codificação e modulação avançadas, obtém taxas de até 63 Mbps para *download* e até 28 Mbps para *upload*;
- qualidade de serviço(QoS): define características de fluxo de dados;
- escalabilidade: Mobile WiMAX é desenhada para trabalhar em diferentes canais de 1,25 MHz a 20 MHz;
- segurança: inclui vários tipos de autenticação;

- mobilidade: Mobile WiMAX inclui mecanismos de *mudança de ponto de acesso*[22] otimizados com latências menores que 50 milissegundos para assegurar que aplicações de tempo real sejam executadas sem degradação de serviço.

2.5.1 Mecanismo de Autenticação e Associação.

Quando um cliente inscreve-se em um serviço WiMax, o provedor de serviço solicita ao cliente informações de fluxo do serviço. Isto inclui o número de conexões com as taxas de dados e os parâmetros de QoS, além do tipo de aplicações que o cliente pretende executar. Desta forma, o provedor de acesso faz um pré-processamento das informações fornecidas e armazena em um banco de dados de fluxo de serviços (WiMax Forum, 2006). Para o Mobile WiMax, a inscrição é feita entre o dispositivo do usuário e o AP. A Figura 2-7 mostra de forma simplificada o processo de autenticação e associação em uma rede Wi-Max, o qual é, de maneira geral, similar ao processo na tecnologia Wi-Fi. O dispositivo do usuário primeiro negocia suas capacidades e necessidades básicas com o AP, depois passa para a fase de autenticação que é feita através de uma chave compartilhada, vale observar que esse processo não é mútuo, somente o dispositivo se autentica no AP, e não vice-versa. Após a autenticação, é iniciado o processo de associação, ou seja, liberação de tráfego de dados criptografados.

[22] Handover ou handoff é o processo de troca de ponto de acesso conectado ao núcleo da rede, ao qual dispositivo é associado para enviar e receber dados.

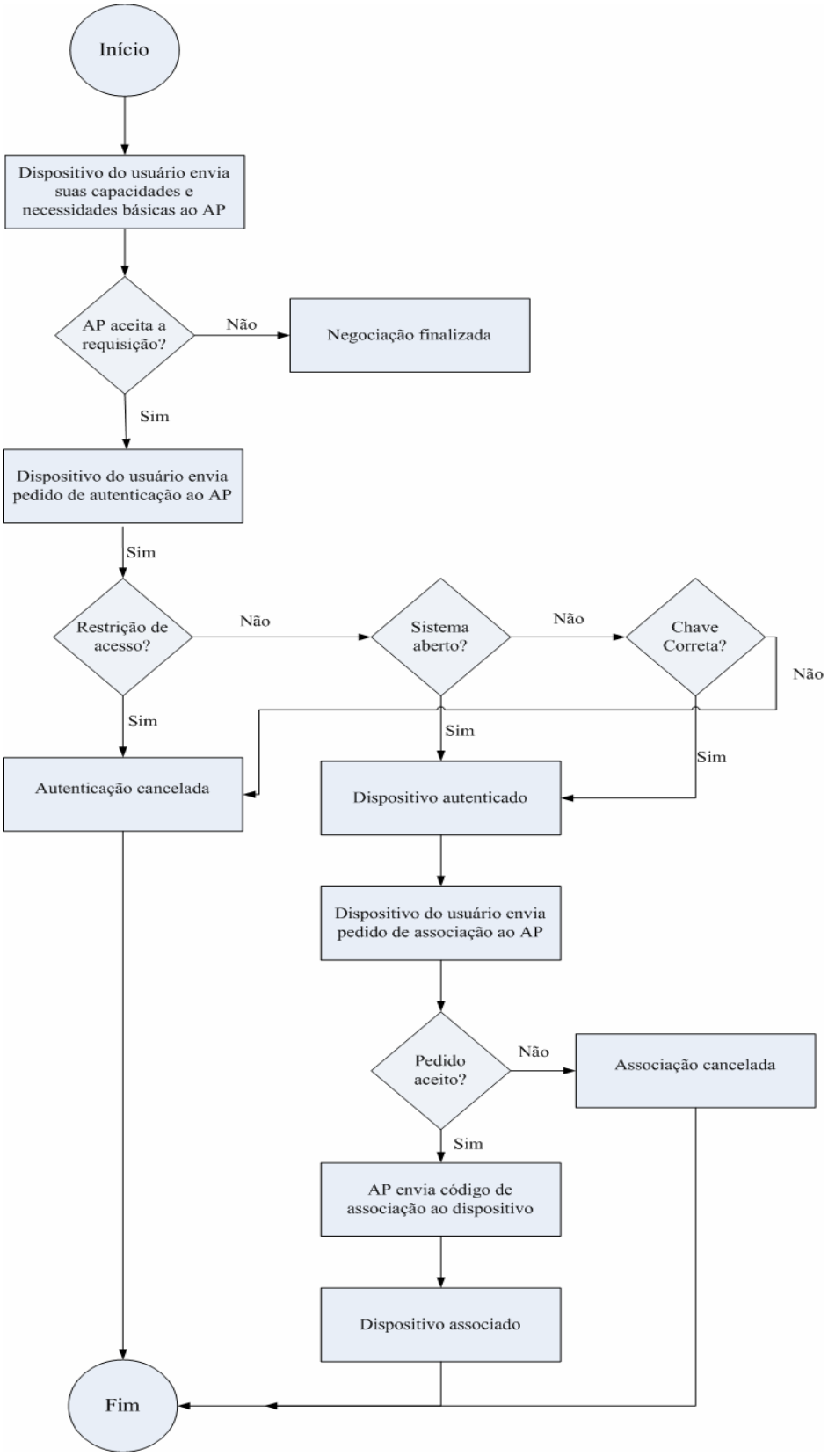


Figura 2-7 Processo de Autenticação e Associação no Mobile WiMax

2.5.2 Principais Aplicações, Limitações e Vantagens.

A tecnologia WiMax foi desenvolvida para complementar as tecnologias Bluetooth e WiFi , desta forma suas principais aplicações incluem:

- Preencher espaços em redes de cabo para última milha de banda larga (ex: DSL, T1);
- Servir de *backhaul*[23] para redes de celular e WiFi;
- Tratar comunicação digital de voz, além de dados.

Principais Limitações: Más condições meteorológicas, como chuvas, podem interromper o sinal de transmissão; alto consumo de energia; alto custo de manutenção.

Principais vantagens: redução nos custos de implantação de redes de comunicação de longo alcance de banda larga; integração de voz, abrangendo as redes de telefonia móvel; compatibilidade com WiFi e 3G; uma única estação pode servir centenas de usuários.

2.6 Tecnologia UMTS/GSM/GPRS para Telefonia Celular

A tecnologia UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), mais conhecida como 3G[24], foi especificada pelo grupo 3GPP[25] (*3rd Generation Partnership Project*) e é parte do padrão global ITU IMT-2000[26]. A tecnologia UMTS está

---

[23] *Backhaul* é a porção da rede de comunicação responsável por fazer a ligação entre o núcleo da rede com as sub-redes periféricas.

[24] O nome de mercado da tecnologia UMTS está associado a 3G para enfatizar uma evolução das gerações de tecnologias de telefonia celular (1G, 2G, 2.5G); é também conhecida como 3GSM para enfatizar sua estreita ligação com a tecnologia GSM.

[25] O projeto 3GPP é uma iniciativa global com o escopo original de desenvolver especificações e relatórios técnicos para sistemas de Terceira Geração que evoluíssem de redes GSM. Atualmente, o projeto inclui também as tecnologias de acesso GSM/GPRS. Página Web do projeto: http://www.3gpp.org/

[26] *International Mobile Telecommunications-2000* (IMT-2000) é um padrão global para redes de Terceira Geração (3G) em redes de comunicação sem fio, definido por um conjunto de recomendações do ITU (*International Communication Union*). O IMT-2000 disponibiliza um arcabouço para acesso sem fio global através da convergência de diversos sistemas de comunicação terrestres e/ou via satélite.

diretamente relacionada à tecnologia GSM (*Global System for Mobile Communication*), por ter sido desenvolvida a partir dos conceitos da GSM. Por essa razão, quase todos os dispositivos UMTS aceitam GSM, permitindo operação em modo-dual.

UMTS provê serviços de alta transmissão de dados para redes de dados sem fio e telefonia móvel. Essa tecnologia mantém características da segunda geração GSM para telefonia móvel e GPRS (*General Packet Radio Service*) para redes de dados sem fio, onde as capacidades de *roaming*[27] são mantidas e outras foram adicionadas. As novas capacidades incluem envio e recebimento de fotos, gráficos e vídeos, além de serviços de voz e dados.

UMTS/GSM/GPRS é líder de mercado em sistemas digitais para comunicação móvel. O sucesso dessa tecnologia pode ser explicado por um conjunto de características: serviços bem definidos, boa qualidade, capacidade e segurança (Zvonar et. al, 1999) (Dharmaraja et al., 2008). Além do mais, o custo dos equipamentos como terminais e redes é mais baixo que outras tecnologias para a mesma finalidade por causa do volume do mercado alcançado. Os componentes básicos da arquitetura da rede GSM estão representados na Figura 2-8, e descritos a seguir:

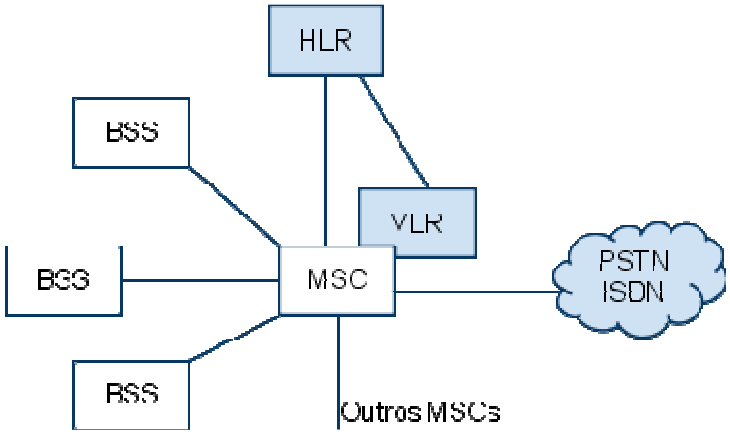


Figura 2-8 Arquitetura da rede UMTS/GSM (adaptado de Muratore, 2001)

[27] *Roaming* é o termo aplicado à habilidade de um dispositivo obter conectividade em redes fora da localidade geográfica que está registrado, ou seja, obter conectividade através de uma rede onde é visitante.

BSS - *Base Station Subsystem* é responsável pelo gerenciamento dos recursos de rádio e pela interface entre os canais de rádio e os canais de *link* físicos utilizados para transmitir informações no solo;

MSC - *Mobile Switching Center* é o próximo nó na hierarquia da rede e é responsável pelo grupo de BSSs adjacentes a ele. Esse componente age como um sistema nervoso central, controlando sinalização de chamadas e coordenando os procedimentos de *handover* (mudanças de canais) entre BSSs ou no mesmo BSS, os quais são iniciados quando um terminal móvel muda a sua localização física.

ISDN - *Integrated Service Digital Network* ou PSTN - *Public Switched Telephone Network* é a rede do sistema telefônico para transmissão digital.

Os componentes da arquitetura que controlam a mobilidade dos terminais estão representados na cor escura/azul e consistem de dois elementos de rede ou banco de dados:

HLR - *Home Location Register*, o qual contém e atualiza as informações sobre a localização dos terminais móveis em termos de área VLR, ou seja a identificação geográfica da área controlada por um VLR. Além disto, o HLR armazena informações sobre os perfis dos usuários e os parâmetros de identificação/autenticação.

VLR - *Visitor Location Register*, gerencia informações mais detalhadas sobre a posição do terminal, seguindo a sua movimentação dentro da área de localização de responsabilidade do VLR (algumas células ou toda área coberta pelo BSS). Os parâmetros de autenticação e identificação são armazenados localmente pelo VLR.

A conexão entre a plataforma de chaveamento e a arquitetura de controle de mobilidade é feita pelos MSCs, os quais possuem um módulo que requisita a localização dos terminais móveis e os perfis dos usuários. Essas informações são necessárias para gerenciar uma chamada entre o terminal móvel origem e o destino.

Através do serviço de transmissão de dados GPRS, as estações móveis (celulares) usando UMTS podem enviar e receber dados através da mesma infra-estrutura utilizada para comunicação digital de voz. No entanto, para integração de funções de chaveamento de circuitos (utilizados em GSM) com chaveamento de pacotes, outros componentes foram adicionados à infra-estrutura. Esses componentes estão representados na Figura 2-9 e descritos na seqüência.

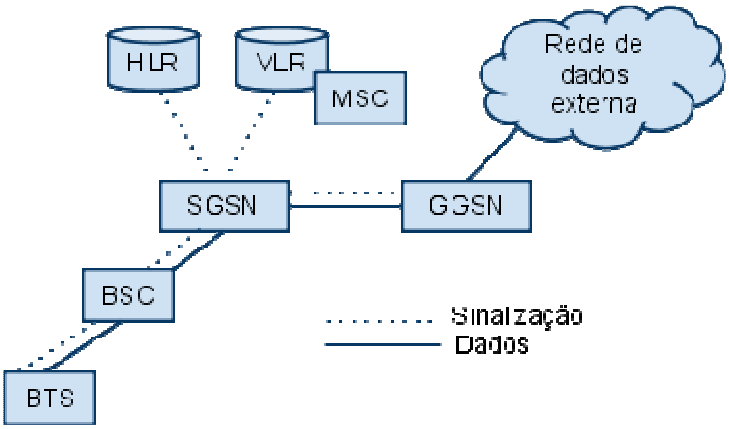


Figura 2-9 Arquitetura UMTS/GSM/GPRS (adaptado de Muratore, 2001 e Dharmaraja et al., 2008)

BTS – *Base Transceiver Station* é a interface de comunicação da antena, comum para voz e dados, com os usuários da rede.

BSC – *Base Station Controller* é responsável pelo gerenciamento dos recursos de transmissão da antena.

SGSN – *Serving GPRS Support Node* é responsável pelo gerenciamento da mobilidade, autenticação, criptografia e roteamento.

GGSN – *Gateway GPRS Support Node* é a ponte entre a rede GSN e uma rede de dados externa, mantendo o gerenciamento da mobilidade, o roteamento e o encapsulamento dos dados.

Resumidamente, cada estação base está conectada a um BSC sendo que cada BSC pode controlar várias BTSs. O conjunto de um BSC e suas estações base é chamado de BSS. Cada BSC é conectado a um MSC, que é responsável pelo roteamento das ligações dentro da rede GSM. As ligações feitas com destino à rede externa à GSM (PSTN, por exemplo) ou vindas de uma rede externa, passam pelo GGSN que faz a função de ponte entre as duas redes. Para armazenar informações de clientes, o sistema possui três bases de dados. A HLR que contém informações sobre os clientes que residem na região de atuação do MSC. Para cada cliente é atribuída uma identidade única – ver próxima subseção. A base de dados VLR armazena temporariamente a identidade e informações de clientes de outras MSCs que estão visitando a rede local. O sistema GPRS forma uma rede de dados por pacote, sobreposta à rede GSM. Essa rede transporta dados entre o terminal (aparelho celular) e uma rede

externa de dados (PDN – *Packet Data Network*). Como é uma rede de sobreposição, dois novos elementos foram necessários para possibilitar o tráfego de dados na infra-estrutura existente GSM: o SGSN e o GGSN.

2.6.1 Mecanismo de autenticação.

A Tecnologia UMTS/GSM/GPRS utiliza um circuito impresso do tipo cartão inteligente para identificação, autenticação, controle e armazenamento de dados. Conhecido como cartão SIM – *Subscriber Identity Module,* módulo de identificação do assinante – esse *chip* é responsável pela identificação e autenticação do cliente na rede.

O cartão SIM contém um número serial único, IMSI – *International Mobile Subscriber Identity*, identificação internacional do assinante do celular – que identifica o usuário. A Figura 2-10 mostra de forma simplificada o processo de autenticação/associação na tecnologia UMTS/GSM.

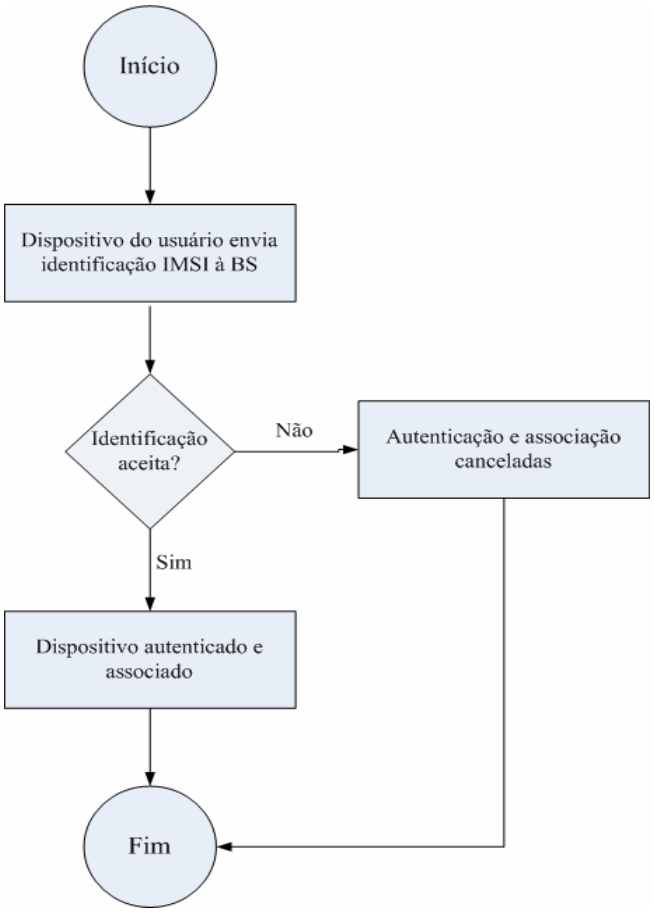


Figura 2-10 Processo de Autenticação e Associação no UMTS

A autenticação também pode conter uma senha de 4 dígitos que o cliente recebe da operadora UMTS, chamada de PIN - *Personal Identification Number*, número de identificação pessoal. Dependendo da operadora, do país e da configuração de seu cartão SIM, ao digitar essa senha de forma errada por *n* vezes, o cartão SIM é bloqueado, e só pode ser desbloqueado usando outra senha de 8 dígitos também fornecida pela operadora, chamada de PUK – PIN *Unblocking Key,* chave de desbloqueio. Se essa senha for digitada errada por *n* vezes, o cartão SIM é bloqueado. A operadora também fornece um PIN 2 e um PUK 2 com o cartão SIM, ambos com a função de modificar ou desbloquear os códigos PIN e PUK principais. O usual é que as operadoras desabilitem o uso do PIN ao tornar ativo o aparelho, mas essa função pode ser reabilitada pelo usuário.

O cartão SIM também permite o armazenamento de informações pessoais, informações temporárias relacionadas ao acesso em curso, e permissões como a lista de serviços liberados.

O processo de autenticação inicia quando o aparelho celular precisa de uma rede – ao ser ligado ou durante uma mudança de estação. O primeiro passo é a busca por uma rede UMTS onde o cartão SIM está registrado. Ao encontrar a rede, é iniciada a negociação entre o aparelho celular e a estação UMTS, o sistema define e registra as informações do cliente, inclusive sua localização de forma automática. Desta forma, a identificação e a autenticação do mesmo é feita através do cartão SIM e não pelo aparelho, como acontece em outras tecnologias.

2.6.2 Utilização, limitação e vantagens.

A tecnologia UMTS é utilizada em áreas que vão além da telefonia móvel:

- Acesso à Internet (celulares, PDAs e computadores portáteis);
- Ampla utilização em transações monetárias (terminais de cartões de débito e crédito com conexão UMTS);
- Controle de tráfego em rodovias;
- Localização do dispositivo móvel baseado na posição da antena;
- Envio de mensagens multimídia - MMS *Multimedia Messaging Service;*
- Atualização automática de data/hora e fuso horário no dispositivo móvel.

Principais limitações: sistema com baixa capacidade de transmissão; alto custo de tarifação.

Principais vantagens: possibilidade de ser tarifado somente pelo volume de dados trafegado e não por conexão; mesma infra-estrutura da telefonia móvel; grande área de abrangência.

2.7 Diferenças entre as tecnologias complementares

A Tabela 2-2 ressalta alguns valores típicos relacionados às tecnologias de redes sem fio descritas na seção anterior. O intuito não é comparar as tecnologias, uma vez que cada uma delas foca em cenários distintos e complementares, mas sim explicitar as diferenças em alguns pontos a serem considerados no momento da adoção de uma tecnologia.

Tabela 2-2 Diferenças entre tecnologias complementares (adaptada de Peterson e Davie, 2007)

Tecnologia/ Valores típicos	*Bluetooth 802.15 (classe2)*	*Wi-Fi 802.11g*	*Mobile WiMAX 802.16e*	*3G Celular UMTS/GSM*
Classificação	WPAN	WLAN	WMAN	WWAN
Consumo de energia do dispositivo	Baixo	Alto	Alto	Baixo
Transmissão	Dados e Voz	Dados	Dados e Voz	Dados e Voz
Taxa de transferência de dados	Max. 1MBit/s	Max. 54Mbit/s	Max.75Mbit/s	Max. 170Mbit/s
Freqüência de operação	2.4GHz	2.4GHz	10-600 GHz 2-11GHz	900 MHz 1800 MHz 1900 MHz
Alcance aproximado	10 ou 100m	≅ 30m ambientes fechados	≅3-5km	≅1-5km em cidades

		≅ 100m ambientes abertos		
Aplicações típicas	Enviar dados entre dispositivos em Redes Pessoais, substituir cabos na interconexão de dispositivos	Conectar computadores móveis a Redes Locais	Conectar computadores móveis a Redes Metropolitanas	Conectar celulares às estações de telefonia móvel, mensagem multimídia e acesso à Internet

A tecnologia Bluetooth possibilita troca de informações entre dispositivos a curtas distâncias, e através de uma *scatternet* pode formar um *backbone* para redes móveis.

Quanto à tecnologia Wi-Fi, o que se tem notado é a crescente disponibilização de pontos de acesso para provimento sem fio em estabelecimentos comerciais, públicos e privados. A tecnologia se faz presente na maioria dos computadores portáteis e telefones inteligentes mais recentes. Porém, a mobilidade do usuário é restrita à área de cobertura da rede local.

Uma maior cobertura, nas redes instaladas, é feita pela tecnologia de telefonia móvel UMTS. Essa tecnologia está presente nos celulares e em computadores portáteis equipados com um modem apropriado, ou via conexão Bluetooth com celulares com modem. Conseqüentemente, um cliente UMTS tem maior mobilidade. Por outro lado, a tecnologia UMTS não oferece uma largura de banda alta, e sua forma de acesso ainda é cara, apesar de o custo estar associado ao tráfego de dados e não à conexão.

A tecnologia Mobile WiMax na função de *backhaul*[28] para as tecnologias Wi-Fi e UMTS promete trazer maior mobilidade e mais opções de escolha aos clientes, podendo estes mudar de tecnologia conforme suas necessidades. Na função de rede móvel, a tecnologia oferece acesso a redes metropolitanas sem fio.

2.8 Considerações Finais

Dentro da problemática tratada pelo trabalho desta tese, este capítulo discorre sobre as principais tecnologias que devem ser consideradas no ambiente onde pode ser utilizada a solução desenvolvida, ou seja, em um ambiente integrado com acesso sob demanda para usuários com total mobilidade.

Os pontos principais que foram analisados no desenvolvimento da solução, referentes a essas tecnologias, foram: (a) diferentes nomenclaturas e versões para o mesmo padrão; (b) processo de autenticação e associação de cada tecnologia; (c) freqüências de rádio utilizadas; (d) área de abrangência; (e) cenários típicos para utilização da tecnologia.

Uma evolução dessas tecnologias no sentido de possibilitar uma integração real quanto à mobilidade do usuário, acesso contínuo e sob demanda é tratada nas redes de 4ª Geração descritas no próximo capítulo.

[28] Backhaul: transporte de sinais de comunicação agregados de uma estação base para o núcleo da rede.

Capítulo 3 Redes de 4a. Geração e tecnologia integradora IEEE 802.21

3.1 Considerações iniciais

Recentemente, algumas tecnologias de redes sem fio estão convergindo para ambientes de comunicação sem fio heterogêneos. Redes pessoais sem fio (WPAN) com tecnologia Bluetooth, redes locais sem fio (WLANs) com Wi-Fi, redes metropolitanas sem fio (WMANs) com Mobile WiMax, redes de telefonia móvel de longo alcance (WWANs) com tecnologia 3G, e outras tecnologias estão conectando-se umas às outras para oferecer acesso a usuários, a qualquer hora, em qualquer lugar e com melhor qualidade-de-serviço (QoS) possível. Cada tecnologia tem a sua característica própria que complementa as outras, sendo assim usuários podem selecionar a interface mais apropriada às suas necessidades. A integração de redes heterogêneas possui vários pontos a serem tratados como descoberta de rede, controle de admissão, segurança e gerenciamento de energia em terminais multimodo.

Por essas razões, há uma movimentação nas atividades de grupos de padronização e em pesquisas para tratar os pontos críticos para integração das redes complementares. Por exemplo, para integração de redes WLAN com redes 3G tem havido grande esforço por parte do Projeto 3GPP[29], do Projeto 3GPP2[30], do Instituto IEEE[31] e do ETSI[32]. No entanto, essas soluções não podem ser diretamente adaptadas para integração de redes como Wi-Fi (IEEE 802.11) e Mobile WiMax (IEEE 802.16e). O padrão IEEE 802.21, em desenvolvimento, define um mecanismo denominado MIH (*Media Independent Handover*) que possibilita a otimização de troca de pontos de acesso em redes heterogêneas incluindo tanto redes da família IEEE 802.11 quanto de outros padrões.

---

[29] 3rd Generation Partnership Project. Página Web do projeto: http://www.3gpp.org/

[30] 3rd Generation Partnership Project 2. Página Web do projeto: http://www.3gpp2.org/

[31] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Página Web do Instituto: http://www.ieee.org

[32] European Telecommunications Standards Institute. Página Web do Instituto: http://www.etsi.org

Para discussão desses assuntos, neste capítulo é apresentado o conceito de redes 4G, os aspectos que as caracterizam, seus objetivos e as áreas que devem ser trabalhadas em plataformas 4G – como as plataformas integradoras utilizadas no trabalho desta tese. Além disto, é descrito o padrão IEEE 802.21, cuja arquitetura sugere a criação de uma camada de abstração dos conceitos comuns entre as tecnologias heterogêneas, dando apoio à solução proposta por este trabalho.

3.2 Redes de 4a. Geração

Redes de comunicação sem fio de 4a. Geração (4G) é um conceito intensivamente discutido no mercado e no meio acadêmico; mas não há um senso comum no entendimento de seus significados (Fitzek e Katz, 2007).

De maneira geral, o termo redes 4G – também conhecidas como Redes de próxima geração (*Next Generation Networks* – NGN) – é utilizado para descrever sistemas de comunicação sem fio de alto desempenho (vazão de dados muito alta). Mas o termo "redes 4G" pode ser aplicado a um emaranhado de redes de comunicação sem fio de variadas tecnologias que cobre virtualmente todos os possíveis cenários de comunicação. Assim sendo, redes 4G são redes convergentes que, apesar da heterogeneidade, coexistem harmonicamente. A heterogeneidade e a convergência são aplicadas às tecnologias de comunicação, ao domínio de gerenciamento, aos serviços oferecidos e aos dispositivos dos usuários.

Segundo a definição do ITU-T[33] (ITU-T *Recommendation*, 2004), uma rede 4G é uma rede baseada em pacotes, capaz de prover serviços de telecomunicação a usuários, fazendo uso de múltiplas tecnologias de banda-larga e tecnologias de transporte com qualidade-de-serviço[34] fim-a-fim, cujas funções relacionadas aos serviços oferecidos são independentes das tecnologias das redes utilizadas. As redes 4G

[33] International Telecommunications Union – Telecommunication Standardization Sector. Página Web do ITU-T: http://www.itu.int/ITU-T/

[34] Qualidade-de-serviço ou QoS (quality-of-service) refere-se a mecanismos de reserva de recursos que possibilitem a priorização de aplicações, usuários, ou fluxo de dados; ou que garantam um certo nível de desempenho para um fluxo de dados.

possibilitam acordo e acesso sob demanda às redes de comunicação e com provedores de serviços, de forma livre e aberta à escolha do usuário. O suporte à mobilidade é outro ponto tratado pelas redes 4G, o qual possibilita provimento consistente e ubíquo de serviços aos usuários. Desta forma, os aspectos que caracterizam as redes 4G são:

- transferências de dados baseadas em pacotes;
- separação entre as funções de controle (como tarifação, sessão e aplicação);
- desacoplamento entre o serviço de transporte e as interfaces abertas para comunicação;
- suporte a uma gama de serviços e aplicações, e disponibilização de mecanismos baseados em blocos de construção de serviços (incluindo serviços de tempo real, serviços de *streaming* e serviços de multimídia)
- capacidades de banda-larga com QoS fim-a-fim e transparência operacional;
- integração com redes legadas através de interfaces abertas;
- mobilidade generalizada;
- acordo e acesso sob demanda dos usuários a diferentes provedores de serviços;
- uma variedade de esquemas de identificação, os quais podem ser resolvidos pelo endereço IP, com o propósito de roteamento em redes IP;
- características de serviço unificado de um mesmo serviço pela percepção do usuário;
- convergência dos serviços de redes fixas e móveis;
- independência das funções relacionadas a serviços com relação às tecnologias de transporte aplicadas;
- suporte a tecnologias de última milha;
- conformidade com os requisitos ditados por órgãos reguladores da área.

O principal objetivo das redes 4G é assegurar que todos os elementos de rede – necessários para fornecer interoperabilidade e comunicação entre tecnologias – sirvam de base para aplicações globais em redes 4G, enquanto mantêm separados os conceitos de transporte, serviços e aplicações. Como objetivos específicos, as redes 4G devem:

- promover competição justa entre provedores de acesso e serviços;
- incentivar investimentos privados;
- definir um arcabouço para arquitetura e capacidades de rede com o intuito de atender a requisitos reguladores;

- prover acesso aberto a redes;
- assegurar provimento universal de serviços e de acesso a serviços;
- promover de forma igualitária oportunidade aos cidadãos;
- fornecer diversidade de conteúdo, incluindo diferenças culturais e lingüísticas;
- reconhecer a necessidade de cooperação global com particular atenção aos países menos desenvolvidos.

3.3 Áreas de interesse em redes 4G

As principais áreas de interesse em redes 4G são descritas a seguir. Em cada uma dessas áreas é descrito o que se espera de uma proposta de rede 4G, sendo que essas áreas podem ser estendidas, assim como seus requisitos (ITU-T *Recommendation*, 2004).

3.3.1 Arcabouço e arquitetura

Uma arquitetura funcional e um modelo geral devem fornecer uma descrição em termos de funções de controle, gerenciamento e transferência, as quais possam ser abstraídas e representadas separadamente das entidades principais a serem tratadas em 4G – como usuários, provedores de serviços, tecnologia de rede e recursos computacionais.

3.3.2 Modelos de arquitetura para redes 4G

A arquitetura funcional pode decompor uma rede 4G em conjuntos de entidades, cada um com uma função única. Relacionamentos e conexões entre funções podem ser identificados na forma de pontos de referência. Agrupamentos de funções podem ser descritos para representar certas práticas, colocando os pontos de referência como candidatos a essas execuções e listando as suas interfaces de comunicação. Essa arquitetura deve considerar os seguintes aspectos:

- uso de técnicas de modelagem que auxiliem na identificação de padrões a serem adicionados aos serviços de comunicação, de acordo com redes 4G, tanto no domínio do provedor quanto entre domínios distintos;
- definição de funções de rede que dêem suporte a terminais legados (que não sejam 4G);
- descrição de como serviços fim-a-fim, controle de chamadas/sessões e

mobilidade do usuário podem ser aceitos em redes heterogêneas;

- definição da funcionalidade de terminais sem 4G em termos de mecanismos de instalação de software, redundância e evolução de terminais menos custosos, gerenciamento e negociação de versões.

3.3.3 Qualidade-de-Serviço fim-a-fim

É esperado que sejam descritas as formas como sistemas distintos podem obter acordos de QoS fim-a-fim para conexões, e como conjuntos de parâmetros de protocolos de camadas mais altas podem ser utilizados no controle de camadas mais baixas.

Os mecanismos de QoS podem ser divididos em duas categorias: um mecanismo "vertical" ligando mecanismos de QoS das camadas altas e baixas (por ex: diffserv[35]) e um mecanismo "horizontal" de camada baixa o qual ligaria o controle de QoS de camada baixa entre diferentes domínios e redes.

Os seguintes aspectos devem ser considerados:

- definição de uma classe de QoS para telefonia em redes de pacotes;
- um arcabouço de definição de classe de QoS de multimídia fim-a-fim e um método de identificação de classes de QoS de componentes de mídia individuais;
- especificação de como utilizar mecanismo de QoS de classe baixa para atingir QoS de camada alta no interior da rede;
- controle de QoS de camada baixa inter-domínios;
- percepção do usuário sobre a QoS.

3.3.4 Plataformas de serviços

Plataformas de serviços 4G devem possuir dois aspectos: (a) separação entre o controle de serviços e o acesso à rede em uso; (b) extensão do controle de serviço para telefonia e multimídia.

---

[35] DiffServ ou serviços diferenciados é um método utilizado em qualidade de serviço para priorizar o transporte de pacotes pela rede, por ex. de um determinado usuário ou instituição.

As plataformas 4G devem oferecer interfaces abertas, usando APIs[36] e/ou servidores *proxy*[37], a serem utilizadas por provedores de serviços. Os serviços resultantes deverão ser acessíveis por usuários finais enquanto estes se movem entre redes e, obviamente, os serviços fim-a-fim deverão estar disponíveis para usuários conectados a diferentes redes, usando provedores de serviços distintos.

Pela perspectiva da plataforma, as redes 4G devem possuir:

- definição de arquiteturas de controle de serviços que possuam APIs abertas e servidores *proxies*;
- melhorias nos mecanismos de suporte ao provimento de serviços, através de múltiplas redes, cobrindo tanto serviço de *roaming* quanto serviços de interconexão;
- desenvolvimento de mecanismos para suporte à presença do usuário, e para o controle do usuário, visando customização de serviços e perfis;
- análise e tratamento do impacto da mobilidade dos usuários nas plataformas de serviços.

3.3.5 Gerenciamento de Rede

Com relação ao gerenciamento de redes 4G, os seguintes aspectos devem ser considerados:

- melhoria na arquitetura toda de gerenciamento do núcleo da rede e definição de serviços básicos de gerenciamento de rede e interfaces que se apliquem aos requisitos de 4G (gerenciamento de falhas, configuração, tarifação/bilhetagem, desempenho, segurança, administração do cliente, tráfego e roteamento);
- inclusão e aplicação de novos conceitos arquiteturais e novas tecnologias, como tecnologias para padronização de vocabulário.

---

[36] API (*Application Programming Interface*), ou Interface de Programação de Aplicações, é um conjunto de rotinas e padrões estabelecidos por um software que disponibiliza, através de uma interface, sua funcionalidade a aplicações. Desta forma, as aplicações não precisam conhecer os detalhes de implementação das rotinas para utilizar suas funções.

[37] Servidor *proxy* é um moderador de negociação de serviços entre requisitantes e provedores de serviços.

3.3.6 Segurança

O ponto crucial sobre segurança em redes 4G é que as redes não estão em um mesmo sistema com interfaces bem conhecidas. A padronização de segurança em 4G deve ser baseada em guias e princípios inseridos em APIs. Desta forma, uma rede segura pode ser construída através da seleção de componentes específicos de redes 4G.

A arquitetura de segurança está relacionada com arquitetura de integração, qualidade-de-serviço, gerenciamento da rede, mobilidade do usuário, bilhetagem e cobrança. Desta forma, essa arquitetura deve endereçar dentro do contexto 4G, a problemática de segurança para os provedores de acesso e serviço, para as empresas e para os clientes dos serviços. As áreas a serem tratadas são gerenciamento, controle e utilização da infra-estrutura das redes, dos serviços e das aplicações. A arquitetura de segurança em 4G deve prover uma visão compreensível, de cima para baixo, de ponta-a-ponta da segurança da rede e devem ser aplicadas a elementos, serviços e aplicações com o intuito de detectar, prever e corrigir vulnerabilidades de segurança.

Os aspectos de segurança a serem tratados em redes 4G devem evoluir a partir de:

- uma arquitetura de segurança bem definida;
- a elaboração de um guia operacional de segurança;
- políticas de segurança em redes 4G;
- protocolos e APIs de segurança adequados.

3.3.7 Mobilidade generalizada

Mobilidade generalizada significa oferecer acesso a tecnologias distintas, em diferentes localidades, enquanto o usuário está em movimento portando um dispositivo móvel. Essa mobilidade deve possibilitar que usuários utilizem e gerenciem serviços e aplicações de forma consistente nos limites entre as redes disponíveis.

Nas plataformas atuais, a mobilidade é limitada, não oferecendo continuidade dos serviços entre redes de acesso complementares (como WLAN e 3G). A demanda por mobilidade generalizada é crescente, e espera-se que seja oferecida amplamente em termos de suporte à mudança de ponto de acesso sob demanda – independente da tecnologia e do domínio da rede disponível. Desta forma, a mobilidade do usuário não acarretará na interrupção do serviço em uso.

A mobilidade em redes 4G deve possuir suporte à mobilidade pessoal, à mobilidade do dispositivo, e à mobilidade de ambos. Os requisitos gerais devem incluir:

- suporte à mudança de ponto de acesso e/ou terminal de acesso;
- suporte à associação a qualquer ponto de acesso que possua uma das tecnologias de redes complementares aceitas;
- suporte à conexão com serviços de forma consistente, sujeito às restrições dos contextos ao qual o usuário estiver inserido no momento da utilização do serviço;
- as funções de rede, as aplicações e os serviços, incluindo aqueles prestados por terceiros, devem ter acesso à disponibilidade e ao alcance do usuário.

Para atender a todos os itens citados, a mobilidade generalizada requer uma grande evolução das arquiteturas de redes atuais. Oferecer maior transparência nas comunicações de banda-larga fixa e sem fio e mobilidade através das várias tecnologias é um dos maiores desafios das redes 4G.

Pela perspectiva do gerenciamento da mobilidade em sistemas 4G, os principais objetivos são:

- abordagem consistente às evoluções das redes de telefonia móveis (sistemas 3G), aos sistemas de redes fixas e às tecnologias de redes de comunicação sem fio WLANs e WMANs;
- redução nos custos operacionais das redes e nos custos de implantação;
- eficiência crescente no uso do espectro de radio;
- mobilidade entre sistemas heterogêneos.

Na camada de controle de rede, as funções a serem desenvolvidas para dar suporte à mobilidade generalizada devem atender a:

- mecanismos de identificação e autenticação;
- controle de acesso e função de autorização;
- gerenciamento de localização;
- alocação e gerenciamento de sessão;
- suporte ao gerenciamento do ambiente do usuário;
- gerenciamento do perfil do usuário;
- acesso aos dados do usuário.

3.3.8 Protocolos e arquiteturas de controle da rede

Em decorrência do aumento na distribuição das funções de controle em arquiteturas de redes 4G, espera-se que os modelos de referência para controle de rede incluam:

- os recursos e a qualidade-de-serviços nas redes de acesso periféricas e no núcleo da rede;
- processamento dos meios, codificação e transferência de informações;
- controle de sessão/chamada;
- controle de serviços.

O modelo da arquitetura de controle da rede deve considerar os controles relacionados aos requisitos funcionais e definir os agrupamentos por funções similares, os quais interagem através de pontos de referência. Exemplos de agrupamentos por funções são:

- *gateway* de acesso aos meios (na borda da rede), como *firewall*[38], NAPT [39](*Network Address Port Translation*), funções de políticas de transferência regulamentadas;
- controle de recursos, incluindo controle de admissão, tratamento de requisição de acesso;
- controle de sessão de acesso, incluindo alocação de endereço, localização de usuário, gerenciamento do perfil de acesso do usuário;
- controle de serviço, incluindo registro do usuário, gerenciamento do perfil de serviço do usuário, tratamento de requisições de serviços, gerenciamento de interação com o serviço.

---

[38] *Firewall* é um dispositivo/sistema responsável por aplicar políticas de segurança em um determinado ponto de controle da rede.

[39] NAPT é um sistema que permite que um único endereço IP público seja usado por várias máquinas em uma rede privada ou WLAN, através de uma tabela de mapeamento dos endereços IP privados com os fluxos de comunicações externas de cada máquina.

Os modelos funcionais de controle da rede devem ser utilizados como base na identificação dos pontos de referência, onde se faz necessária a padronização. Tais pontos de referência devem ser definidos como interfaces padronizadas onde protocolos de controle serão definidos e padronizados com base em protocolos relevantes.

Os modelos arquiteturais de controle da rede devem considerar os requisitos funcionais das redes de acesso (interface usuário-rede), das interfaces entre redes (interfaces rede-rede) e das interfaces entre redes e provedores de serviços (interfaces rede-provedor).

3.3.9 Características e arquitetura de serviços 4G

Considerando as tendências atuais e as evoluções futuras das demandas dos usuários de serviços de comunicação, envolvendo comunicação em tempo-real ou não, tecnologia sem fio e cabeada, interação humano-humano, humano-máquina e máquina-máquina, se faz necessário endereçar nos serviços 4G:

- separação entre serviços, redes e aplicações;
- desenvolvimento de uma arquitetura de serviço adequada que foque nas interfaces necessárias ao suporte de diferentes modelos de negócio, e comunicação transparente entre ambientes distintos.

Além disto, a compatibilidade e a evolução dos serviços e sistemas legados devem ser abordados.

3.3.10 Interoperabilidade de serviços e redes em 4G

Pelo grande número de protocolos, no nível de rede e de serviços, que serão envolvidos em redes 4G, se faz necessário um arcabouço para 4G que assegure a interoperabilidade entre sistemas e redes. Essa interoperabilidade deve incluir em particular:

- especificações de perfis interoperáveis para sistemas complexos;
- especificações para verificação de conformidade com padrões;
- desenvolvimento de procedimentos e documentações relevantes, incluindo o desenvolvimento de ferramentas e uso de tecnologias de normalização de conceitos.

3.3.11 Numeração, nomeamento e endereçamento

Uma vez que redes heterogêneas serão interconectadas em plataformas 4G, os usuários farão acessos heterogêneos utilizando dispositivos heterogêneos. Mesmo assim, as redes 4G deverão fornecer transparência operacional, independente do método de acesso e da rede. Desta forma Numeração, Nomeamento e Endereçamento devem ser tratados pelas redes 4G.

Os usuários devem ser individualmente identificados pelo nome/números através de sistemas de resolução de nome/número, os quais deverão traduzir um dado nome/número em um endereço de roteamento válido. Desta forma, uma conexão ou fluxo de dados poderá ser estabelecida para a transferência (transporte) de informações.

Alguns esquemas de nomeamento/numeração são:

- esquema de endereçamento URL - *Unified Resource Locator*;
- esquema de endereçamento URI - *Unified Resource Identifier*;
- numeração telefônica;
- Protocolo de Iniciação de Sessão (*Session Initiation Protocol* – SIP).

Um usuário que requer acesso a outro usuário deve entrar com um identificador único, seguindo algum esquema de identificação. Feito isto, o terminal ou a rede deve transformar a entrada feita pelo usuário em um endereço final, utilizando um banco de dados local ou externo (por exemplo, utilizando um mecanismo como DNS – *Domain Name System*).

As redes 4G devem ser capazes de prover portabilidade numérica e de nomes.

3.3.12 Princípios fundamentais e requisitos para resolução de nomes e/ou números

As redes 4G, como redes públicas, devem estar de acordo com certos requisitos de resolução de nomes:

- Consistência: o sistema de resolução de nome está diretamente relacionado à execução da rede 4G. Desta forma deve ser consistente e confiável. Duas características na arquitetura são necessárias. A primeira é não haver pontos falhos. A segunda é possuir mecanismos bons de balanceamento de carga. Boa configuração e ajustes devem ser feitos para atender aos requisitos de

capacidade durante a fase de planejamento da rede.

- Integridade: uma vez que o sistema de realocação de nomes/números está diretamente relacionado a redes públicas, deve ser assegurado que não haverá conflito de nomes/números nas bases de dados consultadas para resolução destas informações. Somente entradas de dados válidas e confiáveis devem ser aceitas em tais bancos de dados, caso contrário a integridade do sistema como um todo pode ser afetada, especialmente quando sistemas distribuídos são utilizados.
- Segurança: os dados para resolução de nomes/números são muito importantes para a rede e impactam diretamente na operação da mesma. Esses dados são dados comerciais sensíveis que refletem a estrutura e as políticas de operações da rede. Consequentemente, o sistema de resolução de nomes/números devem ser sistemas especiais utilizados unicamente pela rede e certas medidas de segurança devem ser aplicadas. A segurança é mantida principalmente durante a autenticação de acesso do usuário, segurança dos dados, privacidade das informações, sincronização de dados na rede e restauração operacional após falhas.
- Soberania: uma vez que a rede 4G e os sistemas de resolução de nomes/números são projetados para prover serviços globais e nacionais, é preciso assegurar que a soberania de uma nação envolvida no governo não fique em questão.

3.3.13 Capacidade de comunicação em desastres e perdas

As redes 4G precisam possuir capacidades de comunicação em situações de desastres e perdas, com priorização do acesso às organizações preferenciais e tratamento preferencial de tráfego de emergência.

Medidas especiais devem ser tomadas, desta forma, para assegurar que requisitos e capacidades de comunicação em perdas e desastres sejam devidamente acomodados em redes 4G.

3.4 Padronização para convergência de tecnologias – IEEE 802.21

Padrões que permitem a convergência entre tecnologias distintas, descrevem elementos a serem adicionados às infra-estruturas atuais, atendendo à necessidade de mudanças de tecnologia durante o acesso às redes de comunicação.

O padrão 802.21[40], também conhecido como *Media Independent Handover* (Mudança de ponto de acesso independente do meio), é um padrão que visa a convergência de redes dentro e fora da família IEEE 802. Mais precisamente, o grupo de trabalho 802.21 está desenvolvendo padrões que possibilitam a troca de pontos de acesso e a interoperabilidade tanto entre redes 802, como com outras tecnologias. O objetivo do grupo IEEE 802.21 (Gupta, 2007; IEEE 802.21, 2008) (Mussabbir e Yao, 2006) é possibilitar a continuidade de serviços de forma transparente entre redes heterogêneas incluindo a família de padrões IEEE 802 (IEEE 802, 2001), o padrão 3GPP (3GPP, 2004) e o padrão 3GPP2 (3GPP2, 2004).

Os problemas que motivaram a criação do grupo 802.21 para o desenvolvimento de um novo padrão estão relacionados (IEEE 802.21 Tutorial, 2006): (a) à seleção de redes de forma restrita, onde apenas o critério de força do sinal dos pontos de acesso é considerado; (b) ao crescimento no número de interfaces de tecnologias distintas de redes disponibilizadas nos dispositivos dos usuários, potencializando a problemática no gerenciamento de mudanças de pontos de acesso; (c) ao desenvolvimento de vários mecanismos para lidar com a mobilidade e mudanças rápidas de pontos de acesso em redes IP, como MIPv4 e FMIPv6 (Johnson, 2004) (McCann, 2006); (d) à padronização de *triggers* (gatilhos), eventos e *hints (*dicas) na camada 2 do modelo TCP/IP, feita pelo IETF[41], porém não fornecidas pelos padrões da família IEEE 802 de maneira padronizada ou de forma independente do meio/padrão.

---

[40] IEEE 802.21 Working Group Página Web do grupo: http://www.ieee802.org/21/

[41] Internet Engineering Task Force (IETF) é uma comunidade internacional de projetistas de redes, operadoras de serviços, empresas e pesquisadores que se preocupam com a evolução da arquitetura da Internet, de forma a manter as operações na rede estável. Seus objetivos estão descritos na RFC3935, disponível em http://www.ietf.org/rfc/rfc3935.txt

3.4.1 Serviços Media Independent Handover (MIH)

O padrão 802.21 define uma entidade lógica, MIHF (*Media Independent Handover Function*), a qual lida com o gerenciamento da mobilidade e o processo de mudança de ponto de acesso (Lim et al., 2009). A Figura 3-1 mostra a inserção da entidade MIHF na pilha de protocolos de gerenciamento de mobilidade de um dispositivo móvel. A MIHF fica localizada acima de várias interfaces dependentes do meio e fornece uma interface única, independente do meio, às camadas superiores – relativas aos usuários MIH. Através da interface independente do meio, a função MIHF oferece suporte a serviços específicos para (a) a necessidade de mudança de ponto de acesso, (b) a iniciação de mudança de ponto de acesso, e (c) a escolha de rede pelo usuário MIH. O padrão oferece três serviços primários, a saber (IEEE 802.21, 2008):

- Serviço de Eventos Independente do Meio (*Media Independent Event Service* – MIES), o qual fornece o relatório de eventos correspondente a mudanças dinâmicas nas características da rede, nos estados e na qualidade da comunicação/link;
- Serviço de Comandos Independente do Meio (*Media Independent Command Service* – MICS), o qual possibilita que usuários MIH gerenciem e controlem as mudanças de pontos de acesso;
- Serviço de Informação Independente do Meio (*Media Independent Information Service* – MIIS), o qual fornece informações de descoberta de redes e informações de distribuição de redes dentro de uma dada área geográfica – topologia das redes em uma vizinhança.

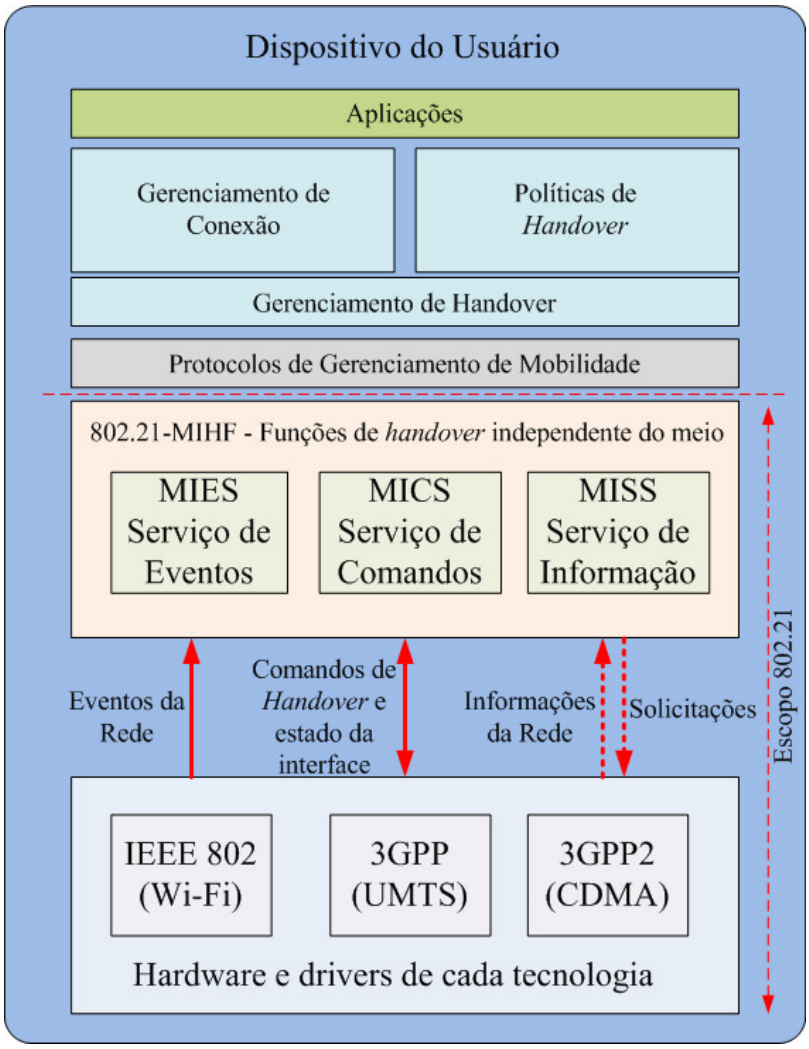


Figura 3-1 Arquitetura 802.21 sugerida pelo grupo IEEE 802.21 (adaptado de IEEE 802.21 Tutorial, 2006)

O serviço MIES pode indicar ou prever mudanças no estados e no comportamento da camada física e da camada de link. Exemplos comuns de mensagens do MIES através da MIHF são “Link Ativo”, ‘‘Link Desativado”, “Mudança de Parâmetros”, e ‘‘Link sendo Desativado”. Esses eventos podem ser originados em entidades locais ou remotas. Eventos locais são gerados em camadas diferentes dentro da pilha de protocolos locais do dispositivo do usuário, e eventos remotos virem através do meio de transmissão da rede de uma MIHF para o seu par de MIHF. O modelo de eventos é baseado em um mecanismo de inscrição. Desta forma, o destino de um evento inscreve seu interesse em tipos particulares de eventos.

O serviço MICS possibilita que camadas mais altas determinem os estados dos links e controles das camadas física e de link de dados para otimização de desempenho. As informações fornecidas pelo MICS são informações dinâmicas relacionadas aos parâmetros do link como força do sinal e taxa de transmissão de dados do link. Por outro lado, as informações fornecidas pelo MIIS são relacionadas a parâmetros estáticos como tipo da rede, endereço MAC ou endereço IP, e informações sobre serviços de camadas mais altas. O destinatário de um comando por ser local – se invocado a partir de um usuário MIH – ou remoto – se enviado por uma entidade da rede de acesso. Um conjunto de comandos, independentes do meio, definidos no padrão IEEE 802.21 auxiliam na escolha da melhor rede disponível pelos usuários MIH sob variadas condições de rede. Esses comandos permitem que tanto os dispositivos móveis quanto as redes de acesso, iniciem as mudanças de ponto de acesso.

O serviço MIIS disponibiliza um arcabouço unificado para obter informações sobre as redes vizinhas em uma determinada área geográfica. Isto auxilia a aquisição, por parte de protocolos de mobilidade de camadas mais altas, de uma visão global das redes heterogêneas, com o intuito de executar mudança de ponto de acessos discretos de forma efetiva. Em contraste ao modelo assíncrono de envio do MIES, o MIIS é baseado em um mecanismo de requisição/resposta. As informações podem ser disponibilizadas localmente, mas o mais comum é que sejam expostas em um servidor de informações externo.

O serviço MIIS permite que um dispositivo móvel obtenha informações de várias redes de acesso através de qualquer interface de rede. Por exemplo, utilizando uma interface 3GPP, é possível obter informações não somente de redes 3GPP, mas também de todas as redes IEEE 802 e 3GPP2 em uma dada região geográfica. Essa capacidade permite que dispositivos móveis usem a interface ativa em uso para obter informações sobre outras redes de acesso disponíveis. Para o serviço MIIS, o padrão define estruturas de informações denominadas Elementos de Informações (IE – *Information Elements*). Os IEs podem ser agrupados por informação específica da rede de acesso, por exemplo: tipo da rede, acordos de *roaming*, custo de conexão, segurança da rede, capacidades de QoS. No caso de pontos de acesso (PA), essas informações podem ser: dados para endereçamento, localização, taxas de dados oferecidas, parâmetros dos canais de comunicação.

3.4.2 Modelo de Comunicação MIH

As funções MIH comunicam-se entre si por várias razões, entre essas: (a) o dispositivo móvel (MN) troca informações MIH com o ponto de serviço (PS) MIH; (b) o conjunto de funções MIHF em qualquer rede torna-se um PS MIH quando se comunica diretamente com um dispositivo MN MIH; (c) quando um MIHF em uma rede não possui comunicação direta com um MN MIH, este não se comporta como um PS MIH para um dado MN mas, ainda pode agir como um PS MIH para outro MN MIH.

Um MN pode possuir várias interfaces de comunicação de diferentes tecnologias, mas a comunicação MIHF não necessita estar relacionada a todas as interfaces disponíveis de um MN MIH. Por exemplo, um MN MIH com três interfaces – IEEE 802.11, IEEE 802.16 e IEEE 802.3 – pode utilizar a interface IEEE 802.3 para operações de manutenção, enquanto as interfaces IEEE 802.11 e IEEE 802.16 podem ficar dedicadas aos serviços MIHF. Um MN pode trocar informações MIH com um PS MIH que reside na mesma rede, como o seu PA, através da camada 2 (link). Quando o PS MIH, como um PA, reside em outra rede, essas informações são trocadas através da camada 3 (transporte). Desta forma, o MIH dá suporte aos mecanismos para comunicação entre redes, das camadas L2 e L3 – link e rede, respectivamente. A Figura 3-2 mostra um modelo de comunicação MIHF, onde os MIHFs assumem papéis diferentes durante a comunicação entre eles. Essas comunicações aplicam-se somente aos MIHFs, sendo importante ressaltar que cada comunicação descrita no modelo não implica o uso de um tipo particular de mecanismo de transporte. Além disto, uma comunicação somente mostra que o envio de informações MIHF é possível de ser feita entre dois MIHFs distintos. No entanto, cada comunicação ilustrada no diagrama da figura inclui interfaces de tecnologias distintas, utilização de mecanismos de transporte diferentes (por ex., L2 e L3), e serviço MIHF relacionado a conteúdo específico (por ex., MIIS, MICS ou MIES).

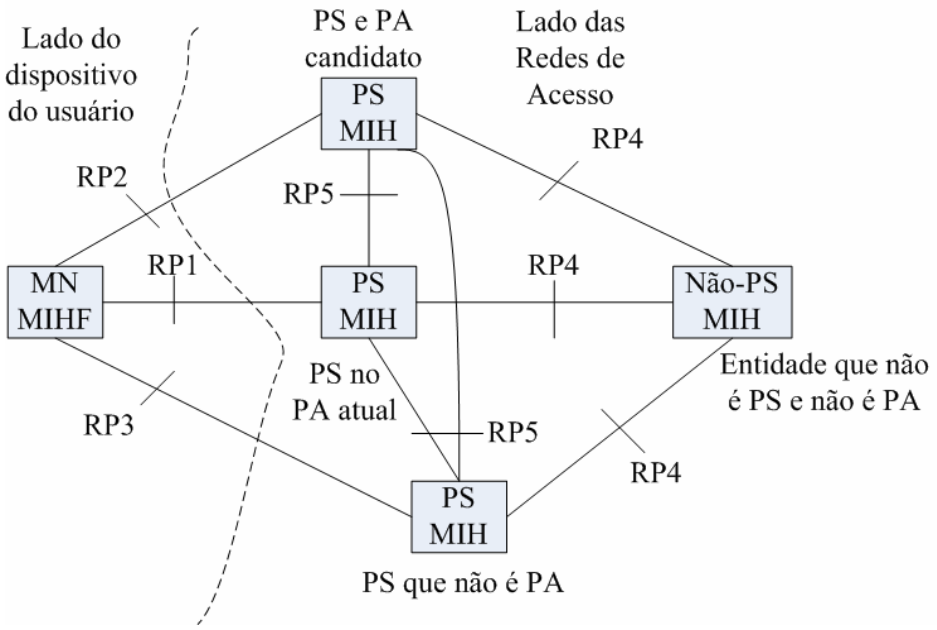


Figura 3-2 Modelo de Comunicação MIHF (adaptado de IEEE 802.21, 2008)

O modelo de comunicação mostra os variados papéis associados aos MIHs dependendo de suas posições em um sistema:

a) MIHF no dispositivo móvel (MN);
b) PS MIH, servindo também como PA, na rede atual de provimento de acesso ao MN;
c) PS MIH no(s) PA(s) candidato(s) à nova conexão de acesso do MN;
d) PS MIH em entidade da rede que não é PA;
e) Entidade MIH que não é PS e não é PA.

O modelo de comunicação também identifica os seguintes pontos de referência entre instâncias distintas de MIHs:

- Ponto de referência RP1: refere-se aos procedimentos de MIHF entre o MIHF no MN e o PS MIH na entidade da rede servindo como AP ao MN. RP1 inclui as interfaces de comunicação nas camadas L2, L3 e acima. As informações das funções MIHF que passam pelo RP1 referem-se aos serviços MIIS, MIES, ou MICS.

- Ponto de referência RP2: refere-se aos procedimentos de MIHF entre o MIHF no MN e o PS MIH na entidade da rede que é PA candidato ao MN. RP2 inclui as interfaces de comunicação nas camadas L2, L3 e acima. As informações das funções MIHF que passam pelo RP2 referem-se aos serviços MIIS, MIES, ou MICS.

- Ponto de referência RP3: refere-se aos procedimentos de MIHF entre o MIHF no MN e o PS MIH na entidade da rede que não é PA. RP3 inclui as interfaces de comunicação nas camadas L3 e acima, e protocolos de transporte L2 como pontes Ethernet, ou MPLS (*Multi-protocol label switching*). As informações das funções MIHF que passam pelo RP3 referem-se aos serviços MIIS, MIES, ou MICS.

- Ponto de referência RP4: refere-se aos procedimentos de MIHF entre um PS MIH em uma rede e uma entidade MIH que não é PS em outra rede. RP4 inclui as interfaces de comunicação nas camadas L3 e acima, As informações das funções MIHF que passam pelo RP3 referem-se aos serviços MIIS, MIES, ou MICS.

- Ponto de referência RP5: refere-se aos procedimentos de MIHF entre duas entidades PSs MIH em duas redes distintas. RP5 inclui as interfaces de comunicação nas camadas L3 e acima, As informações das funções MIHF que passam pelo RP3 referem-se aos serviços MIIS, MIES, ou MICS.

3.4.3 Um exemplo de implantação de rede com serviços MIH

Um exemplo de modelo de rede incluindo serviços MIH é mostrado na Figura 3-3, onde os pontos de referência são mais bem ilustrados. Da esquerda para direita, o modelo inclui um dispositivo móvel (MN) capacitado com MIHF, que possui várias interfaces para redes cabeadas e redes sem fio. O modelo assume que a rede servindo o MN (rede *home*) também opera com várias tecnologias ou permite que o usuário visite outras redes quando um acordo de nível de serviço (SLA), que dê suporte a tal facilidade esteja estabelecido.

O modelo ilustra redes de acesso que estão conectadas de maneira "*loose*" ao núcleo de rede (isto é, o núcleo do provedor 1, 2 ou 3). Outra rede de acesso é também representada, mas mais fortemente acoplada ao núcleo (Rede 3). Não está representada na Figura 3-3, mas uma rede de acesso pode estar também conectada a um núcleo de rede através da Internet. Cada núcleo de rede de provedor (1, 2 ou 3) pode representar um provedor de serviço, um provedor de intranet, ou somente uma outra parte da rede *home* ou visitada. No modelo representado, o provedor de provimento de acesso do usuário (rede *home*) é a Rede de Acesso 3, a qual acopla o dispositivo ao núcleo (Núcleo da Rede *Home*) via RP1. A um determinado momento, a rede servindo o usuário (assinante) pode ser a rede *home* e/ou uma rede visitada.

Os provedores oferecem serviços MIH em suas redes de acesso (Rede de Acesso 1 a 4) para facilitar os *handovers* heterogêneos em suas redes. Cada tecnologia de acesso anuncia suas capacidades de MIH ou respondem a serviços de descoberta de MIH. Cada provedor de serviço para essas redes de acesso permite acesso a um ou mais pontos de serviço (PS) MIH. Esses PS oferecem alguns ou todos os serviços MIH, como determinado durante a descoberta de capacidades MIH. A localização do PS varia de acordo com o cenário implantado pelo provedor e a arquitetura MIH específica da tecnologia.

Um PS MIH reside próximo, ou é interno, a um PA de uma rede de acesso (por ex., Rede de Acesso 1, 2, 4). Desta forma, o PS pode residir interno às redes de acesso ou nos núcleos das redes (por ex., Rede de Acesso 3). Como ilustrado na Figura 3-3, a entidade MIH em um MN pode comunicar-se com entidades MIH via pontos de referências RP1, RP2, ou RP3, utilizando qualquer rede de acesso disponível. Caso o PA na rede de acesso tenha um MIH interno, o ponto de referência RP1 finaliza no PA que também é o PS (Redes de Acesso 1, 2, 4 do modelo podem todas ser RP1 para o MN). No caso dos PS não serem interno a um PA, ou seja, ser não-PA, um ponto de referência RP3 poderia ser finalizado em qualquer entidade não-PA (ilustrado pelas conexões entre o MN e as Redes de Acesso 1, 2 e 4). Eventos MIH originam-se de ambos os lados de um link RP1 ativo. O MN é tipicamente o primeiro nó a reagir a esses eventos.

A interação entre redes visitadas e redes *home* dos usuários podem acontecer também por motivos de controle e gerenciamento ou para propósitos de transporte de dados. É possível também que por razões de *roaming* ou acordos de SLA, a rede *home* do usuário permita que o MN acesse a Internet pública diretamente pela rede visitada. Como ilustrado, duas redes MIH comunicam-se via pontos de referência RP4 ou RP5. O PA MIH comunica-se com outras redes via pontos de referência RP4 e RP5. O MN MIH mantém comunicação MIH com outro PA em redes de acesso candidatas via ponto de referência RP2 para obter Serviços de Informação sobre a rede candidata.

Com relação ao Serviço de Informação MIH, provedores visitados podem oferecer acesso a servidores de informações próprios localizados em um PS MIH (ao alto à direita). O operador oferece o MIIS aos dispositivos móveis que podem, desta forma, obter informações pertinentes ao processo de decisão de *handover*, como listas de redes disponíveis, informação de identificação de provedores, serviços disponíveis,

custos, prioridades, e qualquer outra informação que possibilite a escolha e utilização desses serviços. Como ilustrado, é possível que um MN seja pré-alimentado com dados do MIIS pelo seu próprio provedor. É também possível que o MN obtenha Serviços de Informação MIH de qualquer rede de acesso com provedor de serviço ou de redes visitadas que possuem acordos SLA com o provedor de serviço do MN. O MIIS pode também estar disponível em uma rede próxima ou em uma rede com cobertura na região do MN, e pode ser alcançado através do serviço MIIS do PS da rede em uso. A rede em serviço utiliza interfaces RP4 e RP5 para acessar outras entidades MIH. Para exemplificar, na Figura 3-3, a rede *home* do usuário acessa seu próprio servidor de informação MIH ou o servidor de informação MIH do núcleo do operador 1 (rede visitada).

Tabela 3-1 Sumário dos pontos de referência

Ponto de Referência	*Descrição*
RP1	Entre o MIHF no MN e uma entidade PS MIH do PA provendo acesso.
RP2	Entre o MIHF no MN e o PS MIH do PA candidato a prover acesso.
RP3	Entre o MIHF no MN e uma entidade PS MIH que não é do PA provendo acesso e nem de PA candidato.
RP4	Entre um PS MIH e uma entidade não-PS MIH em redes distintas.
RP5	Entre dois PS MIH em redes distintas

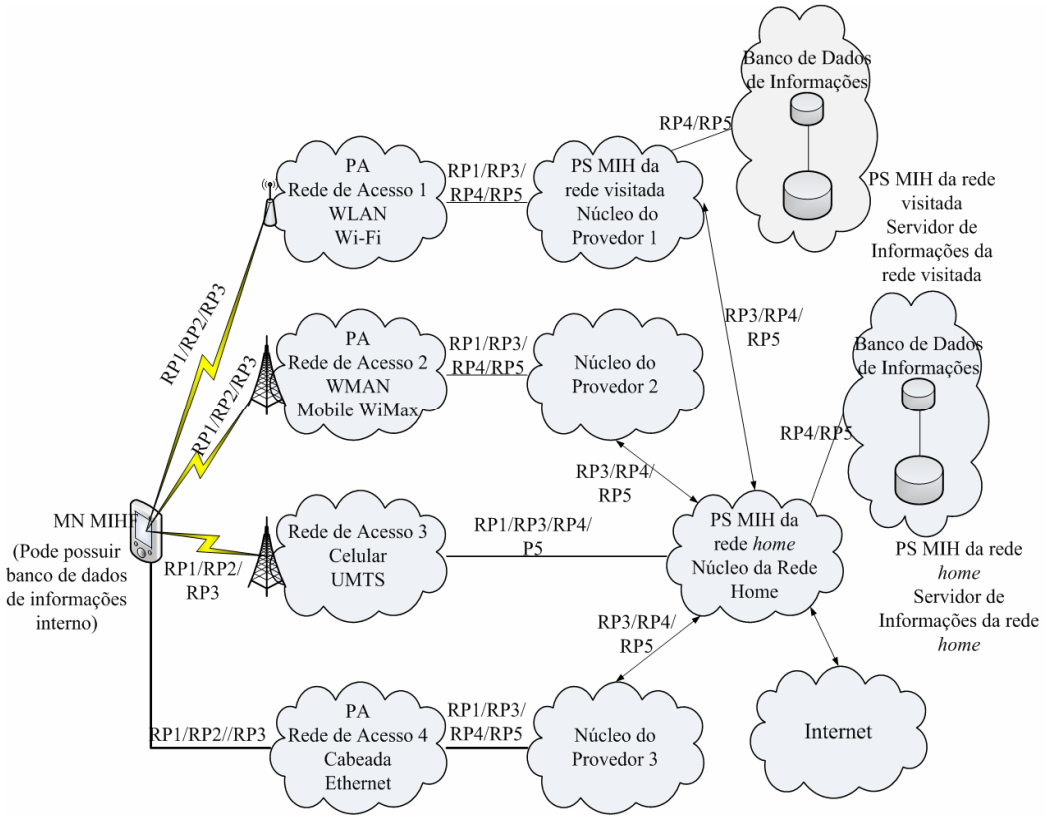


Figura 3-3 Exemplo de Rede com Serviços MIH (adaptado de IEEE 802.21, 2008)

3.5 Considerações finais

A falta de um vocabulário comum que permita o intercâmbio de informações gerenciais entre redes 4G é um obstáculo para a implantação de uma plataforma real. Uma nova arquitetura que permita a inserção da infra-estrutura atual com mudanças que visem o mínimo impacto é essencial para a adoção de um provimento de acesso ubíquo. Além do mais, as redes *ad hoc* devem ser inseridas nessa tendência tecnológica por causa do crescimento exponencial da densidade de dispositivos móveis nas áreas urbanas de países desenvolvidos e em desenvolvimento; e pelo alto custo de implantação e manutenção das redes infra-estruturadas.

O padrão 802.21 objetiva a otimização de mudança de ponto de acesso entre redes sem fio heterogêneas. Esse padrão define uma entidade lógica que abstrai os

elementos associados à tecnologia de comunicação, permitindo que uma interface única, independente do meio, seja vista pelas camadas mais altas do usuário. Apesar de o padrão definir os serviços e apresentar modelos de referências, não são fornecidos os detalhes de implementação.

No próximo capítulo serão apresentadas três plataformas de integração que foram utilizadas no trabalho desta tese, que descrevem componentes nas áreas de interesse de redes 4G e complementam aspectos de desenvolvimento do padrão IEEE 802.21.

Capítulo 4 Modelos de Referência para Redes 4G

4.1 Considerações iniciais

Conforme visto no capítulo anterior, e segundo a definição do ITU-T (*International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*), uma rede 4G é uma rede baseada em pacotes, capaz de prover serviços de telecomunicação a usuários, fazendo uso de múltiplas tecnologias de banda-larga e tecnologias de transporte com qualidade-de-serviço (QoS - *quality-of-service*) fim-a-fim, cujas funções relacionadas aos serviços oferecidos são independentes das tecnologias das redes utilizadas. As redes 4G devem possibilitar acordo e acesso sob demanda com redes de comunicação e com provedores de serviços, de forma livre e aberta à escolha do usuário (ITU-T *Recommendation*, 2004).

Neste capítulo são apresentadas três modelos de referência para plataformas de integração que descrevem componentes nas áreas de interesse de redes 4G e complementam aspectos de desenvolvimento do padrão IEEE 802.21. O padrão 802.21 define uma entidade lógica responsável por abstrair os elementos associados à tecnologia de comunicação no gerenciamento de *handover*, disponibilizando assim uma interface única, independente do meio, para as camadas mais altas. Cada modelo de referência escolhido para este trabalho, e descrito a seguir, trata um tipo específico de *handover* e insere outros aspectos no gerenciamento de *handover* nas camadas acima das tratadas pelo padrão 802.21.

4.2 Handover

Handover ou *handoff* é o processo de troca de ponto de acesso conectado ao núcleo da rede, ao qual o dispositivo está associado para enviar e receber dados pela rede de comunicação (ITU-T Recommendation, 2004; IEEE 802.21, 2008).

Na literatura são encontrados diversos termos e classificações para o processo de *handover*. Essas classificações variam com a perspectiva e a abordagem pelas quais os aspectos de mobilidade envolvidos no processo de *handover* são analisados. As distinções podem ser feitas de acordo com o escopo, área de cobertura, características de desempenho, transições de estado, tipos de mobilidade, e modos de controle do handover.

4.2.1 Classificação de tipos de Handover sob várias perspectivas

As perspectivas mais comuns para classificação são: da camada, do sistema, da tecnologia, da decisão, do desempenho, do procedimento e da conexão. De forma sucinta algumas perspectivas de classificação e tipos de *handover* são apresentadas na Tabela 4-1 que foi criada com base na RFC 3753 (Manner e Kojo, 2004). Em complemento às classificações da Tabela 4-1, pode-se ainda ter uma perspectiva dos motivos pelos quais o usuário executa *handovers* (Moreira et. al, 2007).

O processo de troca de ponto de acesso denominado *hard handover* ocorre quando a conexão com o ponto de acesso ao qual o dispositivo móvel está conectado, é desfeita (quebrada) antes que uma nova conexão seja estabelecida. Em contrapartida, o processo denomina-se *soft handover* quando a conexão em curso é desfeita após uma nova conexão ser estabelecida. Outro fator operacional importante a ser ressaltado, é a entidade que está capacitada a decidir sobre a execução do *handover*. As opções são basicamente o *handover* baseado na rede, onde a decisão é tomada pela rede a qual o dispositivo móvel está conectado; e a segunda opção que é o *handover* baseado no cliente, onde o cliente/dispositivo é a entidade que possui o poder de decisão. Apesar do *handover* controlado pela rede ser a solução adotada na maioria das redes implantadas, o *handover* baseado no cliente, ou um misto rede-cliente, é parte das recomendações das redes 4G (ITU-T Recommendation, 2004) (IEEE 802.21, 2008). Desta forma, faz parte das plataformas adotadas neste trabalho. Além do mais, um *handover* baseado no cliente é mais escalável, pois o dispositivo móvel pode monitorar os eventos recebidos pelas interfaces de redes e eventualmente, de sensores internos ou nas proximidades (IEEE 802.21, 2008).

Tabela 4-1 Tipos de Handovers por diversas perspectivas (Yokoyama, 2009)

Perspectiva	Tipo	Definição
Camada	Enlace	Quando a transição do ponto de acesso é transparente para a camada 3, i.e., não ocorre novo endereçamento IP.
	Rede	Envolve o gerenciamento de mobilidade por meio de um protocolo com suporte à mobilidade, pois um novo endereço IP é atribuído para o Nó Móvel.
	Transporte	Abstrai a camada da rede, ou seja, é independe do conceito de rede de origem ou infra-estrutura adicional, uma vez que o gerenciamento da mobilidade é realizado fim-a-fim.
	Aplicação	Uma aplicação gerencia a troca de ponto de acesso.
Sistema	Intra-Sistema	São trocas sob o mesmo domínio, ou seja, quando ocorre dentro do mesmo sistema.
	Inter-Sistema	Quando ocorrem transições entre domínios diferentes, requerendo o suporte de macro-mobilidade e envolve a atribuição de um novo endereço IP para o Nó Móvel.
Tecnologia	Horizontal ou Homogêneo	Caracterizado quando Nó Móvel é deslocado entre pontos de acesso de mesma tecnologia de comunicação.
	Vertical ou Heterogêneo	Caracterizado quando ocorrem transições entre tecnologias de comunicação distintas.
Decisão	Assistido pelo Nó Móvel	Informação e medidas obtidas do Nó Móvel são passadas para o Roteador de Acesso que decide sobre a execução handover.
	Assistido pela rede	Quando a Rede de Acesso recolhe informações que podem ser utilizadas pelo Nó Móvel na decisão do handover.
	Não assistido	Nenhuma informação para ajudar na decisão handover é trocada entre o Nó Móvel e o Roteador de Acesso.
Desempenho	*Smooth*	O objetivo principal é minimizar a perda de pacotes, sem preocupação com atrasos adicionais na transmissão.
	Fast	Visa principalmente minimizar a latência, sem se preocupar com a perda de pacotes.
	Transparente	É considerado transparente, na prática, quando aplicações ou usuários não detectem quaisquer alterações no serviço que sejam vistas como uma degradação da qualidade.
Procedimento	Pró-ativo	É caracterizado por ser uma troca planejada por meio da monitoração de parâmetros da rede, ou seja, feita antes da desconexão.
	Reativo	É uma transição inesperada, não são feitas indicações para auxiliar na passagem para nova rede.
Conexão	*Make-before-break* ou *soft handover*	Permite ao Nó Móvel conectar-se ao mesmo tempo no próximo ponto de acesso e continuar com o original durante o handover.
	Break-before-make ou *hard handover*	Somente se conecta a um ponto de acesso por vez, ou seja, desconecta do ponto de acesso atual para depois se conectar ao próximo.

4.2.2 Classificação de tipos de Handover sob a perspectiva deste trabalho

A perspectiva utilizada neste trabalho é quanto à necessidade técnica do *handover* (imperativo), a conveniência do *handover* (alternativo), e o ensejo de um *handover* (oportunístico).

Uma classificação geral de tipos de *handover* tratados neste trabalho é mostrado na Figura 4-1 e detalhada nos subitens a seguir.

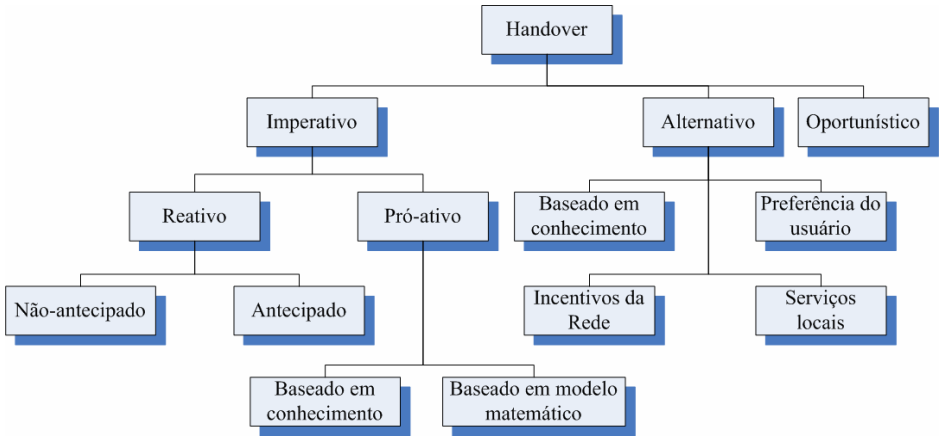


Figura 4-1 Classificação de Handovers (adaptado de Mapp et al., 2009)

<u>*Handover Imperativo*</u>

Um *handover* imperativo ocorre somente por razões técnicas, ou seja, a mudança de ponto de acesso é feita por determinação de uma análise técnica. Esta análise pode ser baseada em parâmetros como força do sinal, cobertura, QoS oferecida por outra rede, entre outros. A denominação "imperativo" deve-se ao fato da análise mostrar uma deteriozação significativa no desempenho ou perda da conexão, caso a mudança não seja feita. O *handover* imperativo é classificado em dois tipos: reativo e pró-ativo.

O "reativo" responde a mudanças apresentadas pelas interfaces do dispositivo, como disponibilidade e indisponibilidade das redes de acesso. Esse tipo é subdividido em "antecipado" e "não-antecipado" (Patanapongpibul et al., 2006). O tipo "antecipado" é um *soft handover* o qual conhece a situação dos pontos de acesso e/ou estações base candidatos a uma nova conexão. No caso do "não-antecipado", o dispositivo perde ou está a ponto de perder a conexão com a rede em uso e não possui informação sobre redes candidatas com cobertura na posição onde este se encontra, ou

seja, não há opção de ponto de acesso para uma nova conexão. Sendo assim, o tipo "não-antecipado" é um exemplo de *hard handover*.

A contraparte do tipo "reativo" é o "pró-ativo". O tipo pró-ativo utiliza técnicas de *soft handover* para escolher novos pontos de acesso. Dentre essas técnicas, o uso de políticas para prever as condições das redes em uma determinada área, antes do dispositivo alcançar a cobertura da área, foi utilizada no trabalho de Shaikh (Shaikh et al., 2007) denominado *Time Before Vertical Handover* (TBVH). O TBVH utiliza políticas para *handovers* pró-ativos no dispositivo móvel que possibilita o cálculo do tempo estimado de deslocamento até o local do próximo ponto de acesso. Desta forma, *handovers* pró-ativos representam um tipo a ser explorado nas plataformas 4G, através de mecanismos de previsão que possam antecipar eventos a serem tratados por sistemas e aplicações. As aplicações podem assim, por exemplo, minimizar perda de pacotes e latência que ocorrem durante o processo de mudança de ponto acesso. Na Figura 4-1, o tipo "pró-ativo" é subdividido em "baseado em conhecimento" e "baseado em modelo matemático". O primeiro utiliza conhecimento baseado em informações fornecidas por outros usuários e/ou pelas redes candidatas sobre, por exemplo, a topologia das redes em uma área (Vanni et al., 2009). O segundo tipo "baseado em modelo matemático" utiliza-se de cálculos matemáticos para determinar, por exemplo, o ponto onde o *handover* deverá ocorrer e o tempo em que o dispositivo gastará para alcançar o ponto baseado em sua velocidade e direção (Shaikh et al., 2007).

Handover Alternativo

Em contraste, o *handover* alternativo ocorre por razões que não são necessariamente técnicas (Bansal et al., 2004), e cujo objetivo principal é respeitar as preferências do usuário e melhorar a sua experiência durante a utilização de um serviço de acesso e/ou conteúdo.

Desta forma, se um *handover* alternativo não for executado, não ocorrerá detrimento significativo no desempenho ou perda da conexão. Os parâmetros analisados pelo processo de decisão de um *handover* alternativo incluem as preferências do usuário por uma determinada rede, incentivos (preço, largura de banda, cobertura, etc) oferecidos pelas redes dos pontos de acesso candidatos à nova conexão, serviços locais, entre outros.

O *handover* alternativo pode ser pensado como um "pró-ativo" que é baseado em questões que vão além das informações técnicas. O alternativo "baseado em conhecimento" é similar ao tratado no imperativo, com a diferença que as informações analisadas podem incluir, por exemplo, as informações fornecidas por outros usuários como a qualidade de experiências com serviços utilizados, inclusive acesso (Vanni et al., 2009).

O *handover* baseado em "preferência do usuário" verifica quais são os parâmetros a serem priorizados na escolha de outras redes com base nas opções escolhidas à priori pelo usuário.

As redes de acesso em plataformas 4G, que qualificam os usuários a fazerem parte do processo de escolha de novos pontos de acesso, devem oferecer incentivos que atraiam usuários ou perfis de usuários para o seu provimento de serviço. Inclusive, os incentivos das redes podem ser alterados conforme a demanda que é esperada. Por exemplo, um provedor de acesso pode oferecer melhores preços em horários de maior ociosidade de suas redes. Desta forma, *handover* baseado em "incentivos da rede" exemplifica bem o poder de barganha dos usuários em plataformas 4G.

Quanto ao *handover* baseado em "serviços locais", o usuário terá a oportunidade de executar um *handover* alternativo para se beneficiar de informações relevantes à sua localização. Por exemplo, um usuário ao adentrar em um centro de compras pode mudar sua conexão para um ponto de acesso da rede do recinto para beneficiar-se dos serviços oferecidos pelos lojistas, como promoções, lista de produtos e mapas das lojas.

Handover Oportunístico

O *handover* oportunístico (Pelusi et. al., 2006) é característico em Redes Móveis *Ad-hoc* (MANET[42] - *Mobile Ad-hoc Network*), onde os dispositivos móveis podem se comunicar um com o outro mesmo que não exista uma infra-estrutura de comunicação dedicada. As mensagens são enviadas do remetente ao destinatário de

[42] MANET - *Mobile Ad-hoc network*, também conhecida como *Mobile Mesh Network*, é uma rede auto-configurável de dispositivos conectados por *links* sem fio.
http://www.ietf.org/dyn/wg/charter/manet-charter.html

forma oportunística em saltos de um dispositivo ao outro. Esse tipo de handover foi inserido na classificação porque uma das plataformas 4G deste trabalho utiliza esse tipo de *handover* para envio-e-recebimento de dados.

4.3 Modelos de Referência para Plataformas 4G e Integração Proposta

As redes 4G darão suporte à computação ubíqua (Abowd e Mynatt, 2000) através de operações de *handover* transparentes em redes heterogêneas. Neste trabalho foram escolhidas três plataformas para redes 4G que podem ser utilizadas de forma complementar. A primeira plataforma, Y-Comm[43] (Mapp et al., 2006) (Mapp et al., 2007) (Mapp et al., 2009), trata de provimento global através de uma entidade embutida nos provedores de acesso infra-estruturados que gerenciará a negociação entre usuários e provedores de acesso durante *handovers* imperativos. A segunda plataforma, SOHand[44] (Vanni e Moreira, 2006) (Vanni et al. 2006) (Vanni et al., 2007) (Moreira et al., 2007) (Yokoyama et al., 2008), está relacionada ao acesso a redes locais e *handovers* alternativos. A última plataforma, denominada Haggle[45] (Hui et al., 2005) (Pelusi et. al., 2006) (Scott et al. 2006), foca em redes *ad hoc* utilizando os dispositivos móveis, com conexões oportunísticas, para envio de informações na forma de armazena-e-envia.

4.3.1 Modelo Y-COMM

Y-Comm é um modelo de referência para provimento de acesso global em plataformas 4G (Mapp et al., 2007). A arquitetura do Y-Comm foi desenvolvida com base nas recomendações de redes 4G e observações sobre a evolução da Internet. A primeira constatação é que os dispositivos móveis estão cada vez mais capacitados com interfaces distintas de redes sem fio. Desta forma, a demanda por um provimento de serviço de comunicação contínuo e transparente por meio da comutação dessas

[43] Página Web do projeto Y-Comm: http://www.mdx.ac.uk/cs/research/groups/YComm.asp

[44] Página Web do projeto SOHand: www.sohand.icmc.usp.br

[45] Página Web do projeto Haggle: http://www.haggleproject.org

interfaces se faz cada vez maior. A segunda observação é que o uso generalizado de redes sem fio será uma alavanca na evolução da Internet.

O Y-Comm é um modelo em camada, como o modelo OSI (Tanenbaum, 2002), com sete camadas, mas com algumas inovações na hierarquia das funcionalidades – Figura 4-2. No modelo proposto, o *handover* vertical é gerenciado por um gerenciador de políticas, o qual se localiza acima da camada de transporte da rede. Similarmente, qualidade-de-serviço possui a sua própria camada, separando esse gerenciamento da camada de aplicação e da camada de transporte. Esta forma de gerenciamento de QoS contrasta com a abordagem atual, onde a QoS é tratada mais como um *add-on* do que como parte integrante da pilha de rede.

É importante ressaltar, que o paradigma de divisão em camadas não restringe a implementação a uma modularização rígida. Um arcabouço é um conceito útil, e não uma especificação detalhada de projeto. Desta forma, a arquitetura Y-Comm, apesar de estar separada em camadas, encoraja a utilização de uma abordagem *cross-layer* (Foukalas et al., 2008) na comunicação entre os gerenciadores das camadas.

O Y-Comm trata *handover* imperativo através de dois arcabouços na Internet. O primeiro arcabouço é chamado de "Arcabouço da Rede Periférica" e lida com operações e funções de *handover* no dispositivo móvel. O segundo é o "Arcabouço do Núcleo da Rede" e descreve as funcionalidades necessárias no núcleo da rede para suporte a provimento de acesso global. Cada arcabouço é formado por sete camadas, como mostra a Figura 4-2.

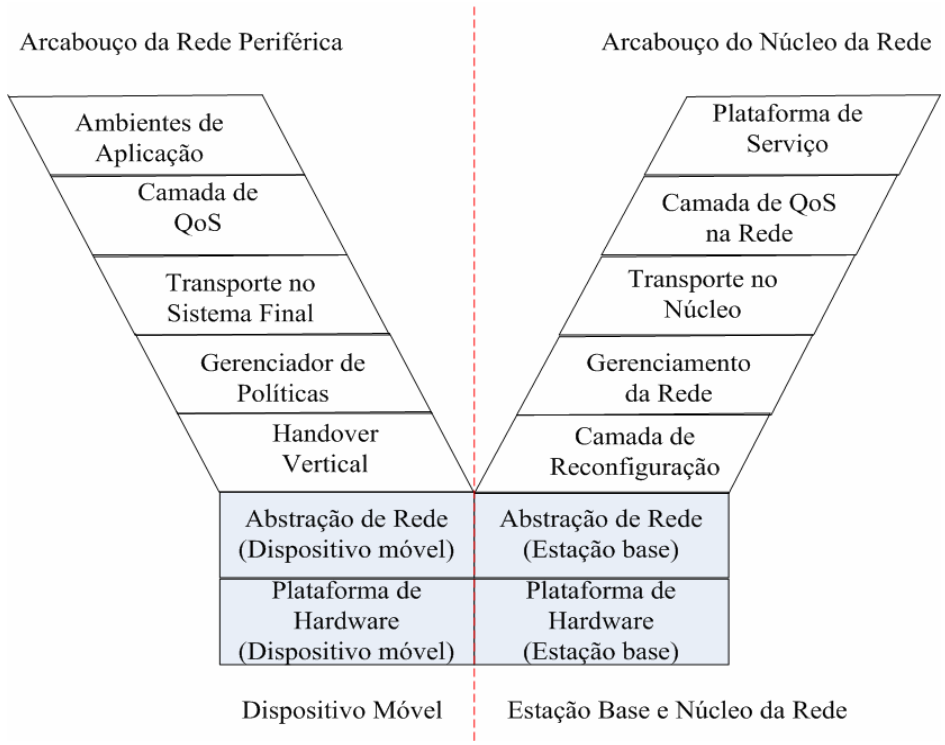


Figura 4-2 Arcabouço Y-Comm: Rede Periférica e Núcleo da Rede (adaptado de Mapp et al., 2009)

4.3.1.1 Arcabouço da Rede Periférica

As duas primeiras camadas inferiores dos dois arcabouços são similares em funcionalidade. No arcabouço da rede periférica, a camada de plataforma de hardware e a camada de abstração de rede rodam no dispositivo móvel, enquanto que para o arcabouço do núcleo da rede, essas camadas rodam na estação base do provedor de acesso. Em ambos os casos, a função dessas camadas é controlar as funções das variadas tecnologias de rede sem fio residindo no dispositivo móvel ou na estação base.

Camada da Plataforma de Hardware

Essa camada é utilizada para definir os componentes e as tecnologias necessárias para o suporte a redes sem fio heterogêneas. Nessa camada são definidas várias características das redes, como espectro magnético necessário para certa tecnologia, diferentes técnicas de modulação que podem ser utilizadas, algoritmos MAC para aquisição e reserva de canais. Uma vez que os sistemas podem ser totalmente

incompatíveis uns com os outros, essa camada contém subcamadas verticais associadas a um tipo particular de rede, por ex., 3G, Wi-Fi, WiMax, e assim por diante.

Camada de Abstração de Rede

A Camada de Abstração de Rede é utilizada para dar suporte a diferentes tecnologias de redes, fornecendo uma interface única e comum de comunicação.

A Camada de Abstração de Rede é responsável pelo controle e manutenção da rede no dispositivo móvel. Os *drivers* do dispositivo do usuário poderão ser mapeados dentro dessa camada. O trabalho do grupo IEEE 802.21(IEEE 802.21, 2008), para padronização de uma interface de redes com diferente MACs sem fio, é o trabalho mais relevante para a abstração de redes nessa camada.

Camada de Handover Vertical

O *handover* vertical[46] é o componente chave em acesso contínuo de redes heterogêneas (McNair e Zhu, 2004). A abordagem de *handover* controlado pela rede de acesso, onde o provedor de acesso decide quando e como o processo deve ocorrer, é a mais antiga e usual. Isto quer dizer que, há mecanismos na rede para manter todas as informações necessárias sobre um usuário móvel, incluindo a sua localização relativa a diferentes redes, as forças de sinal na localização atual, e a direção e velocidade do deslocamento. Com a adição de novas redes sem fio em plataformas 4G, o gerenciamento das informações sobre todas as redes integradas torna-se cada vez mais difícil. Além do mais, tal abordagem implica no compartilhamento de informações de cada operador sobre suas redes, um conceito pouco comum nos ambientes de comunicação, particularmente em telefonia móvel.

A abordagem de *handover* controlado pelo cliente, ou seja, pelo dispositivo móvel é menos utilizada, mas mais adequada e escalável para plataformas 4G. As vantagens incluem: (a) o dispositivo móvel manterá as informações de suas interfaces

[46] Handover vertical refere-se ao handover que ocorre entre tecnologias distintas. Para simplificação, no texto deste documento, handover e handover vertical possuem o mesmo significado.

de redes atualizadas, ficando numa posição privilegiada para decidir quando o *handover* deverá ocorrer; (b) o dispositivo móvel estará ciente do estado das suas conexões TCP e outras questões de camadas mais altas, desta forma, considerando esses fatores quando estiver decidindo sobre um *handover; (c)* se as funções de *handover* forem retiradas do núcleo da rede, o desenvolvimento de um sistema mais robusto para o núcleo da rede, tornar-se-á mais eficiente em termos de custo.

A camada de *handover* vertical é responsável por adquirir os recursos necessários para a execução do *handover*, fazer a sinalização de *handover* para as camadas abaixo, executar a transferência de contexto para o novo ponto de acesso, e reiniciar a recepção de pacotes.

Gerenciador de Políticas

Um sistema de gerenciamento de políticas faz-se necessário para avaliar todas as circunstâncias em que um *handover* pode ocorrer, e considerando vários fatores como mudanças na cobertura e na força do sinal da rede, o estado da rede, e o estado de quaisquer conexões de transporte associadas ao dispositivo móvel.

Existem dois tipos de gerenciamento de políticas que devem ser explorados: reativo e pró-ativo. Uma política reativa depende totalmente de notificações oriundas da camada de abstração de rede sobre a presença ou ausência de sinal de redes durante a mobilidade do dispositivo. A maioria dos sistemas de gerenciamento de políticas relatados na literatura, por ex. POLIMAND (Aust et al., 2003), e o PROTON (Vidales, 2005) têm sido reativos.

Políticas proativas procuram adquirir e fazer uso de informações sobre, como é usual em *handover* imperativo, força de sinal e cobertura de rede antes do dispositivo chegar a uma determinada localização.

A camada de gerenciamento de políticas do Y-Comm trabalha com políticas reativas e proativas, decidindo quando, onde e o porquê de um *handover* ocorrer. Essa decisão é feita através da análise de vários parâmetros relacionados ao *handover* como força de sinal e QoS da rede. Quando o dispositivo atinge o local, no tempo estimado da execução do *handover*, essa camada envia uma ordem de execução à camada de *handover* vertical.

A plataforma Y-Comm trabalha com um algoritmo denominado *Time Before Vertical Handover* (TBVH) que calcula o tempo que o dispositivo alcançará uma

localização baseado na sua direção, velocidade e algumas heurísticas de deslocamento (Shaikh et al., 2007). Conhecer o tempo calculado pelo TBVH, permite às camadas mais altas da pilha de protocolos a aperfeiçoarem o uso dos canais, antes que esses se tornem indisponíveis (por ex., buferização de dados).

As políticas proativas podem também ser divididas em dois tipos: política proativa baseada em conhecimento, a qual se utiliza de conhecimento sobre a localização dos dispositivos, sobre os tipos de coberturas de redes e sobre a força dos sinais de cada rede, que o dispositivo encontrará na área estudada. Os sistemas para tal tipo de política requerem rotinas de detecção de localização e monitoramento, assim como um mecanismo que assegure que os dados sobre as redes disponíveis em uma dada localização sejam confiáveis e acessíveis. Tais dados devem estar disponíveis em um formato que permita o processamento por dispositivos com recursos limitados, e possam ser transmitidos em redes com baixa largura-de-banda, sem impacto significativo (Laasonen et al., 2004)(Soh e Kim, 2004).

O outro tipo de política proativa é baseado em modelagem, onde um modelo matemático é utilizado para calcular o tempo até que um handover ocorra. O algoritmo TBVH utiliza um modelo matemático baseado em cálculos geométricos simples. Apesar de ser menos precisa que a abordagem baseada em conhecimento, essa abordagem é flexível e pode ser utilizada em simulações, assim como em redes reais.

Além do mais, há uma necessidade crescente de combinar políticas reativas com políticas proativas, com uma visão no desenvolvimento de uma arquitetura onde é possível escolher qual política deve ser utilizada em uma dada situação. Desta forma, quando há uma informação confiável, uma política proativa deve ser escolhida. No entanto, quando não há informação sobre a cobertura ou a informação não é confiável, o sistema pode recorrer a um mecanismo de política reativa.

Camada de Transporte do Sistema Final

Essa camada trata de funções que normalmente são atribuídas às camadas de rede e de transporte do modelo OSI. Por isso, essa camada examina questões de endereçamento, roteamento e transporte nas redes periféricas.

Por causa de decisões arquiteturais no projeto de criação da Internet, assumiu-se que todas as redes, independente de estarem na periferia ou no núcleo, usariam TCP/IP. Isto foi reforçado pela visão fim-a-fim das conexões (Saltzer et al., 1984). A atual

evolução da Internet põe em questão esse modelo de comunicação fim-a-fim. O que se tem visto é uma Internet evoluindo para um núcleo cada vez mais rápido e redes periféricas sem fio permitindo mobilidade de seus usuários. Isto significa que as características do núcleo e da periferia estão divergindo em termos de latência, vazão de dados, e perfis de erro.

Em vista disto, a utilização de TCP/IP nas redes periféricas para acesso contínuo em um ambiente heterogêneo deve ser cuidadosamente reavaliada. Primeiramente, a questão recai sobre o endereçamento IP na sua utilização atual, onde cada máquina ligada à Internet deve possuir um endereço único global. As técnicas de NAT (*Network Address Translation*) são bem aceitas para lidar com parte dessa questão. Em NAT, um espaço de endereço IP privado é empregado em uma rede periférica, enquanto apenas poucos endereços IP globais são de fato utilizados na comunicação com outras máquinas na Internet. O software de NAT então provê a tradução da conexão IP global e da máquina local com o seu endereço IP privado. Como todos os datagramas passam pelo servidor de NAT da rede, estes são analisados, filtrados e encaminhados de acordo com a tabela de mapeamento de IP globais com IP privados. Além do mais, essa técnica aumenta a segurança das redes por não expor as máquinas na Internet, reduzindo assim e exploração de falhas de segurança e ataques DoS[47] a máquinas específicas.

O mecanismo do NAT mostra que o uso do endereço IP pode estar confinado ao dado movendo-se pelo núcleo da rede. Nas redes periféricas, outras formas de endereçamento podem ser utilizadas com uma tradução feita por um *gateway* local com as redes da periferia da área de cobertura. Tal abordagem, se aplicada, questionará a suposição de que os endereços IPv4 são insuficientes para o crescimento da utilização da Internet. Desta forma, em vista da realidade em plataformas 4G, a implantação de IPv6 deve estar além da questão de espaço de endereçamento IP infinito.

---

[47] Denial-of-service attack (DoS attack) - Um ataque de negação de serviço é uma tentativa de tornar os recursos de um sistema indisponíveis para seus usuários.

Camada de QoS

Devido ao uso crescente de múltiplas interfaces de rede pelos dispositivos móveis, é inevitável que o usuário experimente diferentes qualidades-de-serviço (Rodriguez et al., 2004). Desta forma, a camada de QoS requer um gerenciamento dessa variação. Para uma melhor explicação, os conceitos de QoS descendente (*downward*) e crescente (*upward*) serão explicados a seguir.

QoS descendente. A intenção é construir uma série de mecanismos para controlar as diferentes qualidades-de-serviço que são encontradas nos *handovers* em redes heterogêneas. O mecanismo de QoS descendente dá suporte a aplicações do legado, ligando as conexões em uso a diferentes canais de comunicação com QoS variadas.

QoS crescente. Espera-se que no futuro as aplicações sejam capazes de lidar com alterações na QoS, adaptando-se aos recursos oferecidos pelas redes da localização do dispositivo móvel. Essas alterações serão enviadas pela camada de QoS. Um mecanismo de sinalização baseado em evento de QoS avisará as mudanças às aplicações, durante a execução destas. As aplicações farão as adaptações necessárias para manterem a execução de acordo com a QoS oferecida.

Essa camada também verifica a QoS da rede como um todo para assegurar operabilidade estável.

Camada do Ambiente de Aplicação

A camada mais alta do Arcabouço da Rede Periférica é a Camada do Ambiente de Aplicação que especifica um conjunto de objetos, funções e rotinas para o desenvolvimento de aplicações condizentes com as outras camadas do arcabouço.

4.3.1.2 Arcabouço do Núcleo da Rede

Como dito anteriormente, as duas primeiras camadas do Arcabouço do Núcleo da Rede são responsáveis pelo controle das operações da estação base do provedor de acesso e rodam nessas estações. As demais camadas são distribuídas pelo núcleo da rede, rodando nos componentes adequados às suas necessidades e funções.

Camada da Plataforma de Hardware

Assim como no Arcabouço Periférico, essa camada é utilizada para definir os componentes e tecnologias necessárias para o suporte a redes sem fio heterogêneas. Quando um dispositivo móvel solicita, por exemplo, a reserva de um canal na estação base, é essa camada que possui as características de cada tecnologia. As subcamadas verticais associadas a cada tipo particular de rede, dependerão do que é oferecido pela estação, por ex., 3G, Wi-Fi, WiMax, e assim por diante.

Camada de Abstração de Rede

A Camada de Abstração de Rede contém a interface única e comum de comunicação. As requisições serão feitas a essa camada na estação base que conversará com o *driver* de cada tecnologia para a execução do comando específico à tecnologia em uso.

Camada de Reconfiguração

A Camada de Reconfiguração possui informações de controle para o gerenciamento de componentes do núcleo da rede como roteadores, *switches* e outros componentes que utilizam técnicas de programação de rede.

Camada de Gerenciamento da Rede

Essa camada é responsável pelo gerenciamento e controle das operações de rede dentro do núcleo. Uma característica importante dessa camada é a capacidade de dividir o núcleo da rede em redes independentes, mas gerenciados de forma integrada. As informações dessas redes independentes são coletadas e armazenadas de acordo com as áreas geográficas de cada localização. Desta forma, a camada de gerenciamento de políticas nos dispositivos móveis é informada sobre as redes periféricas em uma localização específica – vizinhança. Funções de alto nível dessa camada podem criar, juntar e dividir redes.

Camada de Sistema de Transporte no Núcleo

A Camada de Transporte está ligada ao transporte de dados através do núcleo da rede. Os pontos onde a redes periféricas juntam-se ao núcleo da rede são chamados de ponto-final do núcleo. Esse ponto é normalmente um acesso à rede com várias redes

periféricas ligadas. Desta forma, a camada de transporte gerenciará o transporte de dados dentro do núcleo de um ponto a outro ponto com certa QoS e um nível de segurança específico.

Camada de Qualidade-de-serviço da rede

A camada de QoS é responsável pelo gerenciamento da QoS dentro do núcleo da rede, especialmente na interface entre o núcleo e as redes periféricas, ou seja, nos pontos-finais. O principal objetivo dessa camada é evitar que os pontos-finais fiquem sobrecarregados.

Camada de Plataforma de Serviço

A Camada de Serviço permite que serviços possam ser distribuídos e instalados em várias redes ao mesmo tempo.

4.3.1.3 Mapeando Y-Comm em uma plataforma de telefonia móvel

A arquitetura 4G proposta por Y-Comm busca um mapeamento fácil nas infra-estruturas atuais, como UMTS/GSM/GPRS. A arquitetura UMTS, mais conhecida como 3G, é a infra-estrutura para telefonia móvel mais popular já implantada. A Figura 4-3 mostra os componentes do UMTS/GSM/GPRS. O dispositivo móvel (MN) executa a pilha de protocolos UMTS/GSM/GPRS, enquanto as funcionalidades de rede necessárias para a tecnologia são distribuídas pelas entidades do núcleo da rede. As estações base (BST) interagem diretamente com os dispositivos móveis através de canais específicos de rádio. Cada BST é controlada por um Controlador de Estação Base (BSC), o qual é controlado por um Centro de Chaveamento de Dispositivos Móveis (MSC) para tráfego de voz ou um Nó de Suporte a Serviço de GPRS (SGSN) para tráfego de dados. O *Gateway* para Suporte a GPRS (GGSN) atua como uma ligação com redes de dados públicas (PDN) e outras redes com ajuda do Registro de *Gateway* (GR).

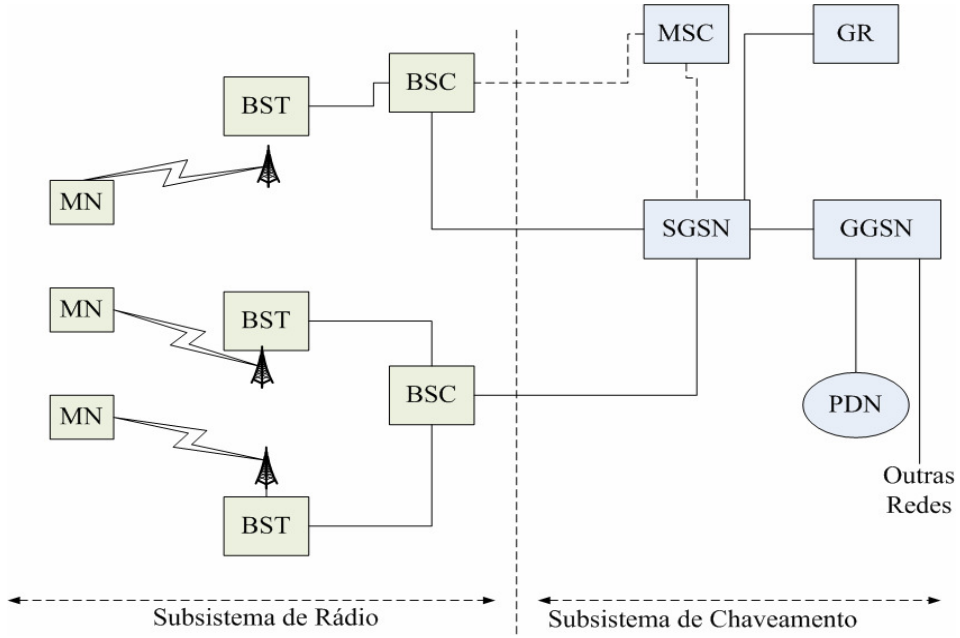


Figura 4-3 Arquitetura UMTS/GSM/GPRS (adaptado de Mapp et al., 2009)

As funções do Y-Comm podem ser mapeadas na infra-estrutura UMTS/GSM/GPRS como mostra a Figura 4-4. O dispositivo móvel (MN) com o arcabouço periférico é executado na rede periférica, enquanto o arcabouço do núcleo é distribuído pelo núcleo da rede, neste caso na rede UMTS/GSM/GPRS. A camada de plataforma de hardware e a camada de abstração da rede serão executadas na estação base (BST), lembrando que as BSTs aceitas pelo Y-Comm incluem também pontos de acesso Wi-Fi e WiMax. A camada de reconfiguração será executada nos controladores das estações base (BSC) para UMTS ou em roteadores de acesso nas redes WLAN e LAN. Essa camada utiliza técnicas de programação na camada de abstração da rede para controlar os recursos de cada estação base ou ponto de acesso. É esperado que cada BSC controle um tipo de tecnologia. A camada de reconfiguração no BSC reserva recursos para a execução de um *handover* em um tipo particular de BST. A camada de Gerenciamento da Rede gerencia as diferentes redes sem fio e é executada no nível do MSC/SGSN da infra-estrutura UMTS atual. Em Y-Comm, um Gerenciador de Rede local gerencia todos os BSCs em uma determinada área e conhece o estado de cada rede sem fio, incluindo sua topologia.Essas informações podem ser compartilhadas com a camada de Gerenciamento de Políticas no dispositivo móvel. O ponto de conexão com o núcleo é utilizado pela rede para alcançar a Internet cabeada. Para certas conexões, os pacotes IP oriundos e destinados aos dispositivos móveis são “tunelados” no núcleo da

rede a partir dos pontos de conexão. Finalmente, quando uma aplicação no dispositivo móvel requer uma conexão através do núcleo da rede, a camada de QoS no dispositivo interage com o gerenciador de QoS, no núcleo da rede, para negociar o requisitos de QoS da nova conexão. O gerenciador de QoS retornará os dois pontos de conexão que serão utilizados na nova conexão.

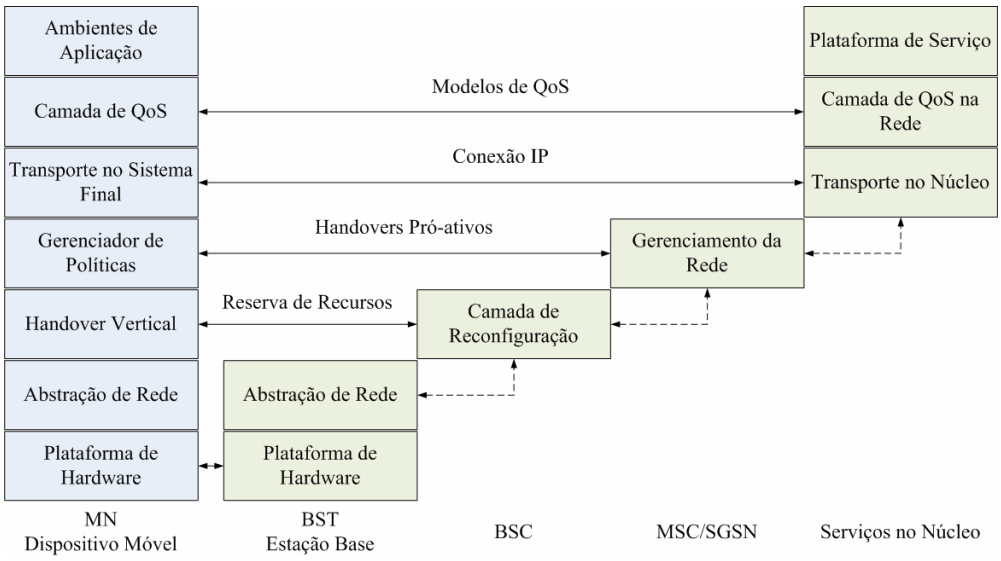


Figura 4-4 Y-Comm mapeado em UMTS (adaptado de Mapp et. al, 2009)

4.3.2 Modelo SOHand

A idéia central da arquitetura SOHand (*Service Oriented Handover*) é disponibilizar uma plataforma 4G para dar suporte à prestação de serviços avançados de rede. A base do sistema é uma estrutura de informação versátil para comunicação entre provedores de serviço e clientes. O cliente possui módulos capazes de capturar informações de várias fontes, como do usuário, da rede, do dispositivo, do ambiente, entre outras. O provedor de acesso pode ser classificado em categorias de serviço tradicional (por ex., rede celular ou Wi-Fi) ou comunitário (por ex., redes Mesh). Em ambas as categorias, o usuário é beneficiado com a associação e correlação das informações contextuais para enriquecer a sua experiência durante o uso do ambiente da rede (Moreira et al., 2007).

SOHand, além da habitual conexão com a Internet por meio de um provedor de acesso, apresenta um diferencial no gerenciamento de conectividade. Esse diferencial é

disponibilizado por meio de uma abordagem centrada no usuário, em detrimento à abordagem usual centrada no provedor da rede. Desta forma, a escolha do ponto de acesso passa a ser feita pelo usuário e embasada por informações contextuais.

Os serviços são vistos como facilidades (por ex., diretório de informação, troca de mensagens, vídeo sob demanda, jogos) oferecidas por provedores de conteúdo durante uma conexão/sessão do usuário. Um provedor pode oferecer acesso e conteúdo ao mesmo tempo. O usuário, durante a utilização de um serviço, tem sua conectividade gerenciada por um mecanismo de suporte à mobilidade do cliente, e desta forma, executa *handovers* de forma transparente nas redes de acesso. Um *Broker*, além de centralizar as informações de contexto do cliente, pode atuar como intermediário na negociação AAA (*Authentication, Authorization e Accounting*) entre um cliente e um provedor, e entre provedores. As informações do usuário, do dispositivo ou de qualquer serviço relacionado, podem ser utilizadas durante uma sessão para estruturar segurança, privacidade, QoS, tarifação e outras políticas.

4.3.2.1 Componentes da Arquitetura SOHand

A arquitetura SOHand é composta pelo lado cliente (dispositivo), pelo lado provedor e por um *Broker*, conforme a Figura 4-5. No lado cliente, existem diversas Fontes de Contexto (FC). Cada fonte de contexto fornece informações que podem ser capturadas pelo dispositivo móvel. O Gerenciador de Contexto é responsável por *1)* processar as informações de contexto das FC; *2)* armazená-las em uma Base de Dados Local (BDL); e *3)* monitorar as condições da rede atual, do dispositivo e das preferências do usuário. O Módulo de Negociação utiliza os serviços disponibilizados por provedores de acesso, no ambiente de rede em questão, para negociar o acesso através de políticas pré-definidas e informações de contexto. O Gerenciador de *Handover* pode decidir qual é a melhor rede candidata ao *handover,* utilizando, por exemplo, as preferências do usuário relativas a preço e segurança.

O provedor de acesso possui um Gerenciador de Negociação formado por dois módulos: *1)* Gerenciador de Políticas que informa as políticas de acesso de acordo com a posição geográfica do cliente; e *2*) o AAA Local que, apto à negociação, é responsável por autenticar, autorizar e tarifar o cliente. No entanto, o *Broker* é o componente da arquitetura que disponibiliza informações de negociação de diferentes provedores e as

centraliza em um AAA *Home*. Essas informações são utilizadas na negociação entre o cliente e provedor, e entre provedores. Caso um cliente não possua assinatura no provedor alvo, esse provedor irá consultar o *AAA Home* no *Broker* e obter as informações da conta do cliente fornecidas pelo seu provedor de origem (*home*). Além disso, o *Broker* possui uma Base de Dados Centralizada (BDC) com informações de contexto de diversos clientes.

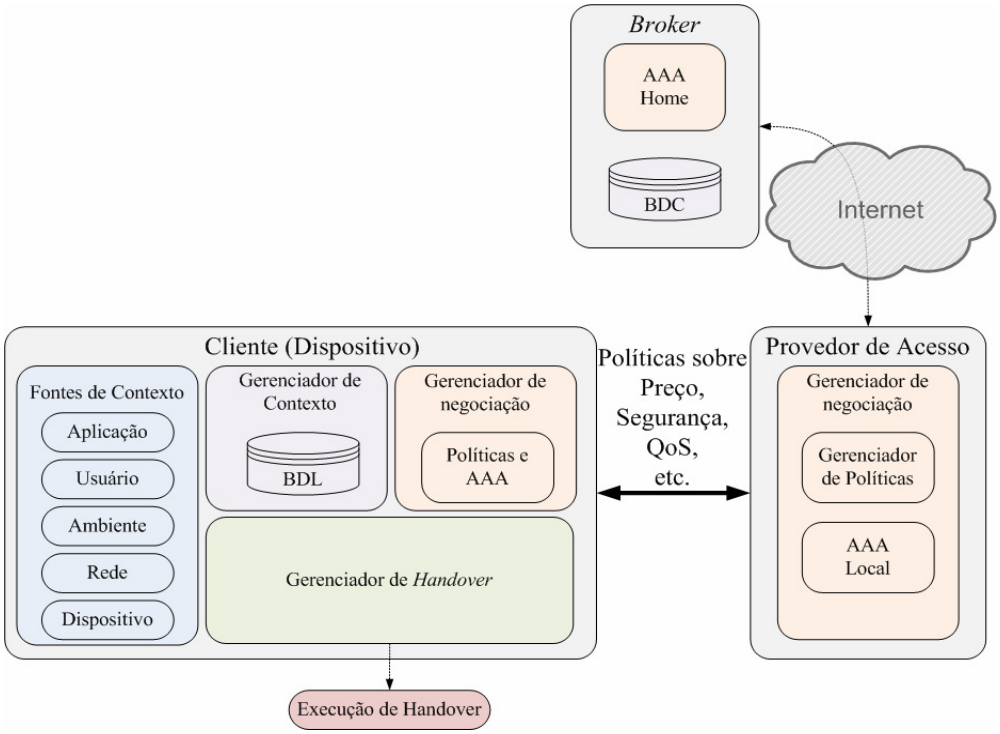


Figura 4-5 Arquitetura SOHand - lado cliente, Broker e lado provedor (adaptado de Yokoyama, 2009)

<u>*Fontes de Contexto e Gerenciador de Contexto*</u>

Normalmente o *handover* é decidido com base na indicação da força do sinal recebido (*Received Signal Strength Indication - RSSI*) (Pawar, *et. al*, 2008). Porém, realizar a decisão do próximo salto fazendo uso apenas do *RSSI* em ambientes 4G pode não ser suficiente. Esses ambientes serão compostos por diversos provedores de acesso (com políticas distintas) e existindo a necessidade de atender às preferências do usuário e aos requisitos das aplicações. Em SOHand um dos objetivos é atender tais exigências

utilizando um conjunto de informações de contexto. As FC são apresentadas na Tabela 4-2, acompanhadas de uma breve descrição de como são obtidas e a motivação para recuperá-las.

O Gerenciador de Contexto obtém as informações por meio dos métodos descritos na Tabela 4-2. Esse gerenciador é responsável por monitorar: *a)* o movimento do usuário (utilizando um receptor GPS); *b)* as condições da rede em uso (qualidade do sinal, segurança e atividades de redes vizinhas) e do dispositivo (tempo de bateria e interfaces ativas); *c)* as informações que são emparelhadas com as preferências do usuário (preço, segurança, economia de energia, etc.); e se for necessário, para garantir a preferência do usuário poderá *d)* iniciar o procedimento do *handover* ativando o módulo Gerenciador de *Handover*. Todas as informações capturadas a partir das Fontes de Contexto são gravadas no BDL do dispositivo do usuário.

Tabela 4-2 Fontes de contexto e exemplos de informações que podem ser capturadas (adaptado de Yokoyama, 2009)

Fontes de Contexto	Informações de Contexto relacionadas	Método de recuperação da informação	Motivação
Usuário	Localização Hora Data Preferências	A localização (coordenadas geográficas) do usuário, hora e data são obtidas por meio do receptor GPS. As preferências são configuradas pelo usuário, que ordena uma lista de provedores, e se deseja minimizar ou maximizar segurança,	Localização é importante para o *handover* pró-ativo considerando as preferências do usuário e também para os LBS. A data e hora, o provedor pode combinar com outras informações para personalizar os serviços, proporcionar QoS, etc. O usuário pode usar as

		preço e energia (sim/não). Indicando quando o SOHand deve considerar essas preferências na seleção da rede. Todas as preferências serão fornecidas pelo usuário por meio de interface.	preferências para criar perfis, por exemplo, de segurança para realizar uma operação financeira, escolhendo os provedores com maior nível de segurança, ou ainda, um perfil de economia de tarifas para selecionar o de menor custo.
Rede	IP/Prefixo Gateway DNS MAC Address do AP Modo de Operação Canal de operação SSID Segurança Qualidade do sinal Redes vizinhas	As informações de IP/Prefixo, Gateway e DNS são obtidas por meio de chamadas a API do Sistema Operacional (SO). As redes vizinhas e as demais informações são capturadas durante o processo de *scan* da interface.	O IP/Prefixo, Gateway e DNS da rede atual podem ser armazenados e utilizados em uma conexão futura (na mesma rede) para pré-configurar a interface e eliminar o tempo de mecanismos de auto-configuração (e.g. DHCP) na camada de rede, assim reduzindo o tempo para o *handover*. As demais informações são aplicadas ao procedimento de seleção do próximo ponto de acesso.
Dispositivo	Interfaces de rede Tempo restante da	Por meio de chamadas a API do	As informações do nível da bateria e interfaces

	bateria	SO são retornadas as informações do nível da bateria em mA e os nomes das interfaces que estão ativas.	ativas podem ser associadas a preferência do usuário, por exemplo, um perfil de economia de energia, que como alternativa pode utilizar uma conexão via Bluetooth (IEEE 802.15).
Ambiente	Praça Universidade Restaurante Shopping, etc.	O ambiente pode ser recuperado por meio de algum serviço que mapeie os locais e relacione com a posição geográfica obtida pelo GPS.	Relacionar o local com a disponibilidade de redes abre novas oportunidades de negócios. Pode-se inferir que o local não possui cobertura de uma determinado provedor.
Aplicação	Navegador Web Player de vídeo E-mail (imap, pop) FTP, etc.	Informações da aplicação podem ser obtidas por meio de chamadas a API do SO.	Conhecer a aplicação que utiliza a rede é importante para proporcionar QoS, segurança e provisionamento de recursos.

Procedimento de conexão

Existem, basicamente, quatro casos de uso do sistema. *a)* Usuário parado desconectado querendo conectar-se. *b)* Usuário parado conectado, que eventualmente pode realizar um *handover* por conveniência, por exemplo. *c)* Usuário em movimento e desconectado por não ter uma rede disponível. e *d)* Usuário em movimento conectado.

Esse último caso é o mais complexo, pois exige que para cada *handover* seja realizado o processo de descoberta, negociação e associação ao novo ponto de acesso.

Um serviço no lado provedor aguarda requisições de negociação independentemente da rede origem do cliente. O cliente conhece a forma de acessar os serviços de cada provedor e configura uma ordem de preferência em seu perfil. Então, conecta-se ao provedor informando a sua posição geográfica atual. O servidor verifica as políticas de acesso com base na localização do cliente e retorna as informações para negociação.

Contudo, o uso de uma nomenclatura específica por cada provedor para determinar seus parâmetros pode inviabilizar o procedimento de negociação. Desta forma, um vocabulário comum é compartilhado entre as entidades.

Uma vez obtidas as informações dos provedores (preço, segurança, etc.), elas são retornadas para o Gerenciador de *Handover*, que executa o algoritmo para selecionar a melhor rede disponível de acordo com as preferências do usuário.

Depois de selecionado o novo provedor, é iniciado o procedimento de AAA. O cliente passa as informações necessárias para o provedor (e.g., ID, rede de origem, método de autenticação aceito pelo dispositivo, plano de consumo, etc.). Se o provedor não for capaz de resolver o procedimento AAA localmente, então ele deve consultar o AAA *Home* que centraliza as informações do usuário no *Broker*.

4.3.2.2 Integração entre SOHand e Y-Comm

O modelo SOHand e o modelo Y-Comm podem ser analisados de forma integrada para o desenvolvimento de uma plataforma 4G que dê suporte a *handovers* imperativos e alternativos. A Figura 4-6 mostra, no lado do dispositivo do usuário, a equivalência entre o módulo Gerenciador de Negociação SOHand e a camada do Gerenciador de Políticas Y-Comm. As políticas analisadas para decisão de *handover* imperativo no Y-Comm podem ser estendidas para abranger as questões relativas a *handover* alternativo, como sugere o SOHand. No lado do provedor de acesso, a Figura 4-6 ilustra a camada de Gerenciamento da Rede Y-Comm relacionada com o módulo Gerenciador de Negociação SOHand. As informações que são enviadas para a camada de Gerenciamento de Políticas Y-Comm, nos dispositivos móveis, sobre as redes periféricas em uma localização específica, podem incluir as informações dos serviços SOHand que dizem respeito a experiências passadas de usuários na utilização dos

serviços das redes. Desta forma, o processo de escolha de um ponto de acesso candidato torna-se mais rico.

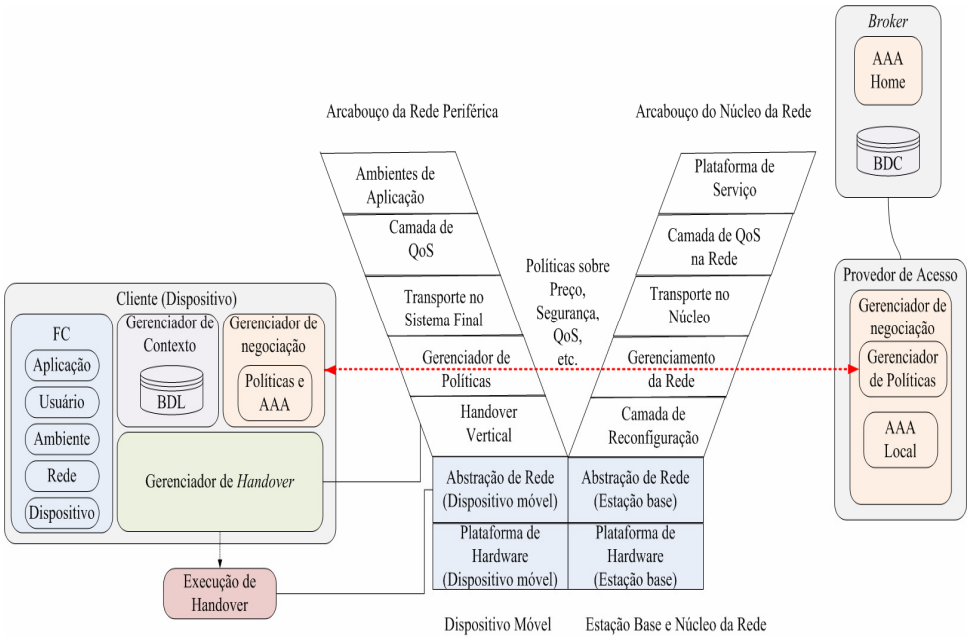


Figura 4-6 Integração entre o modelo SOHand e o modelo Y-Comm

4.3.3 Modelo Haggle

Os dispositivos móveis atuais caracterizam-se por possuírem capacidade de processamento e armazenamento significativa, suprimento de energia limitado, mais de uma interface de rede sem fio e o fato de serem utilizados durante a mobilidade de seus usuários. As tecnologias disponíveis mais comuns nesses dispositivos são 802.11, UMTS/GSM/GPRS e Bluetooth. Consequentemente, as aplicações são frequentemente utilizadas durante a mobilidade dos usuários, resultando em uma maior necessidade em manter os dispositivos conectados aos serviços de acesso à Internet.

Os usuários podem estar presentes em lugares com conexão rápida de Internet, livre e de baixa latência, denominadas ilhas de conectividade, como em escritórios ou residências. Por outro lado, em outros momentos podem estar em lugares sem disponibilidade de sinal de conexão, como no caminho entre o trabalho e a casa. No entanto, esses dispositivos podem além de estar no alcance dos pontos de acesso das

redes estarem dentro do alcance de outros dispositivos móveis – os quais também permitem o intercâmbio de informações.

Redes oportunísticas exploram a mobilidade humana no encaminhamento e distribuição de dados. Informações podem ser armazenadas e encaminhadas, aproveitando-se da mobilidade dos usuários, ou através de links sem fio quando estes são encontrados. Enquanto tais redes estão no campo de redes móveis *ad hoc* e redes tolerantes a atraso (*delay-tolerant*), novas arquiteturas são bem diferentes desses paradigmas tradicionais em uso.

Redes denominadas *Pocket Switched Networks* (PSN) permitem que dispositivos móveis conectem-se a outros dispositivos móveis na sua vizinhança, de forma oportunística, para manterem intercâmbio de dados. PSNs utilizam a mobilidade humana como um mecanismo de transporte de dados, levando esses dados até uma próxima ilha de conectividade ou até o destinatário do dado, na forma de armazenamento-envio (Hui, 2008).

Uma arquitetura de software denominada Haggle (Su et al., 2007), possibilita que dispositivos móveis tornem-se independentes das redes infra-estruturadas, utilizando um modelo sem camadas o que o torna bem diferente do modelo em camadas TCP/IP tradicional, e considera aplicações centradas em dados (*data-centric*). A plataforma Haggle é um tipo de PSN que tem como meta dar suporte aos serviços e aplicações atuais baseados em encaminhamento global e local.

4.3.3.1 Pocket Switch Network (PSN) – Descrição

PSNs são redes tolerantes a atrasos (*Delay Tolerant Networks* – DTN) na área de redes móveis *ad-hoc.* Redes DTNs tentam prover comunicação interoperável em ambientes onde a conectividade fim-a-fim nem sempre pode ser feita. Redes DTNs são caracterizadas por longos atrasos (*delay*), *links* com erros freqüentes, conexão intermitente, e disponibilidade oportunística ou pré-agendada (Lindgren e Hui, 2009).

As redes PSN vão além dessas definições e beneficiam-se de conexões locais intermitentes de forma oportunística (por ex., rede Wi-Fi *ad hoc*, Bluetooth, etc.) e conexões globais (por ex., pontos de acesso à Internet, GPRS, SMS, etc.) quando disponíveis. A Figura 4-7 mostra as possibilidades de envio de mensagem de “João” até “Maria” nos cenários PSNs.

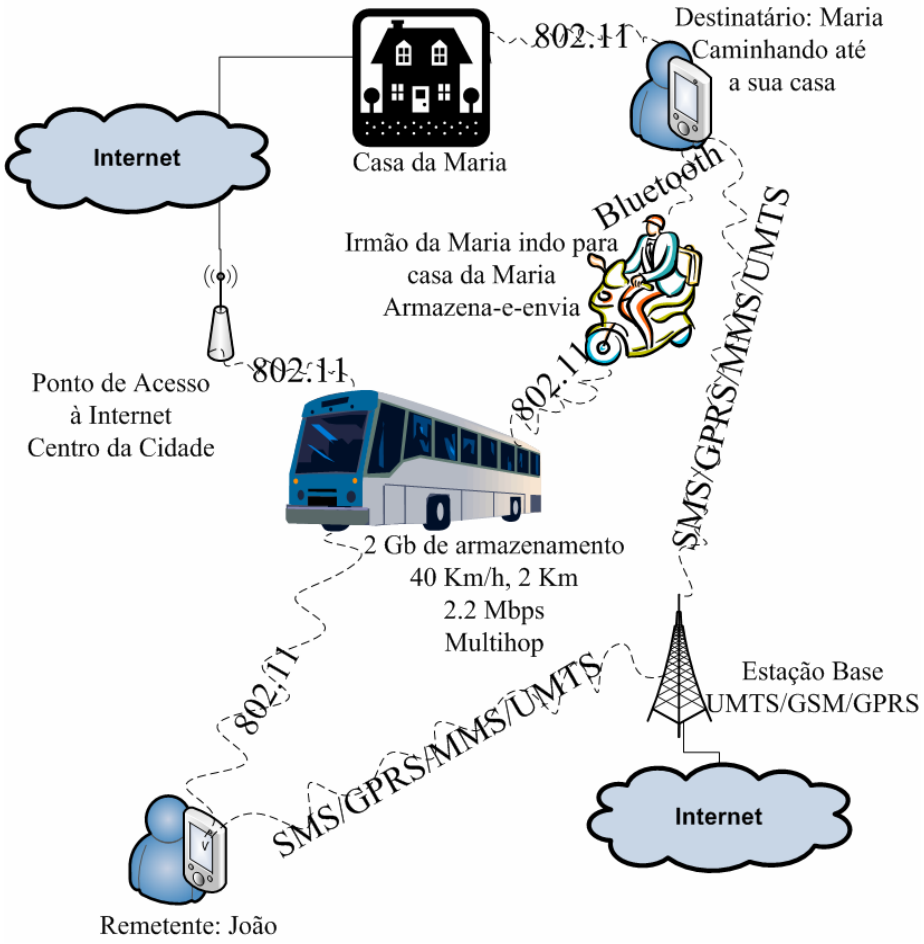


Figura 4-7 Possibilidades de envio de mensagem (adaptado de Rodrigues, 2007)

As redes PSN possibilitam a entrega de dados de três maneiras, a saber:

- Através da Internet;
- Diretamente entre dispositivos que estejam dentro do alcance um do outro;
- Transporte físico do dado nos dispositivos móveis na forma de armazena-e-envia, beneficiando-se da mobilidade dos usuários.

Para obter esses tipos de serviços, o protocolo IP atual apresenta um desempenho baixo porque espera que as aplicações sejam síncronas e ponto-a-ponto, fatos que não podem ser assumidos por redes PSN.

Motivação na utilização de PSNs

Considere um cenário onde duas pessoas estão lado a lado em um local sem acesso a uma rede infra-estruturada, mas com dois dispositivos em mãos. Essas pessoas gostariam de trocar e-mails com arquivos anexados, porém a única forma de conectarem-se aos seus servidores de e-mail seria via GPRS. Por que essas pessoas não podem enviar seus e-mails diretamente pelos dispositivos utilizando conexão sem fio *ad hoc* utilizando Bluetooth ou 802.11?

Conforme mencionado anteriormente, o problema está na maneira como o protocolo IP espera que a aplicação se comporte. O dispositivo possui a capacidade de conectar-se ao outro dispositivo e enviar o e-mail, mas a aplicação de e-mail não aceita esse tipo de envio porque necessita de serviços infra-estruturados para encontrar a caixa postal do destinatário e enviar a mensagem.

As redes PSN isentam os usuários da preocupação de terem conectividade ou não, permitindo que estes enviem dados mesmo quando o destinatário não se encontra dentro do alcance do remetente, estando o remetente dentro ou não de uma área de cobertura de serviço de acesso. As redes PSN montam uma rede sem fio automática através das oportunidades de conexão que aparecem ao longo do tempo e do percurso. Esses cenários são extremamente dinâmicos, uma vez que os nós de acesso surgem e desaparecem conforme os padrões de mobilidade das pessoas (Rodrigues, 2007).

As redes PSN não são úteis somente na ausência de infra-estrutura de rede, mas também em cenários como tráfego intenso na rede, catástrofes, falta de energia, redes de sensores e meios de transporte (trens, aviões, etc.).

Desafios nas redes PSN

Muitos são os desafios nas redes PSN: caracterizar as propriedades da rede com base nos padrões de mobilidade das pessoas; envio eficiente de dados e questões de segurança no envio; qualidade-de-serviço; privacidade; e usabilidade.

A questão da segurança e colaboração (camaradagem) entre dispositivos são desafios complexos em PSNs. Os dispositivos devem compartilhar recursos para enviarem dados a um destino e podem ficar expostos a riscos por causa de potenciais agentes maliciosos que terão acesso aos recursos, à transferência e aos dados transmitidos.

As técnicas de segurança tradicionais não podem ser aplicadas porque são focadas em serviços centralizados ou terceiros confiáveis, métodos que nem sempre podem ser aplicados em PSNs.

Estudos no comportamento e na mobilidade dos usuários são muito valiosos para criação de técnicas para segurança dos recursos, privacidade das informações e envio eficiente de dados nessas redes.

4.3.3.2 Arquitetura Haggle

A arquitetura Haggle cria um novo paradigma para comunicação sem camadas para dispositivos móveis, onde conexões locais e mobilidade de usuários são tão importantes quanto o acesso à Internet de forma infra-estruturada. A descrição que se segue pode ser encontrada em artigos sobre Haggle, como em (Su et al. 2006; Scott et al., 2006; Su et al. 2007).

Uma arquitetura sem camadas é algo diferente, mas Haggle vai além, criando uma arquitetura centrada em dados, o que permite independência de infra-estrutura por parte das aplicações, e libertando-as de um tipo de conexão específico no envio dos dados. Haggle seleciona, em cada salto de envio, o melhor protocolo e a melhor conexão no encaminhamento dos dados ao destino. Essas características determinaram a escolha por uma arquitetura sem camadas, evitando sinalização e transferência de dados entre camadas, como ocorre com o protocolo IP tradicional.

Haggle possui seis gerenciadores, como pode ser visto na Figura 4-8, um projeto modular, com interfaces que permitem a comunicação entre todos os gerenciadores:

- Gerenciador de Dados (*Data Manager*) – armazena, pesquisa e gerencia a gravação de objetos chamados DO (*Data Object* – objeto de dados);
- Gerenciador de Nomes (*Name Manager*) – executa a resolução de nomes e associa nomes a destinos potenciais;
- Gerenciador de Protocolos (*Protocol Manager*) – encapsula todos os métodos de transferência de objetos de dados;
- Gerenciador de Conectividade (*Connectivity Manager*) – fornece serviço de descoberta de conexões na vizinhança, calcula o custo (utilização de recursos) de envio dos dados e estabelece conexões com vizinhos.

- Gerenciador de Encaminhamento (*Forwarding Manager*) – decide quais objetos devem ser enviados a quem (qual vizinho) e obtém/calcula o benefício dessa ação;
- Gerenciador de Recurso (*Resource Manager*) – decide qual tarefa deve ser executada em um dado momento, considerando o custo e o benefício de todas as tarefas possíveis.

Cada gerenciador possui uma interface de comunicação com os outros gerenciadores por causa do relacionamento próximo que estes possuem. Haggle também possui uma interface para as aplicações (*Haggle Application Interface*) que são formadas a partir de um subconjunto das interfaces dos gerenciadores.

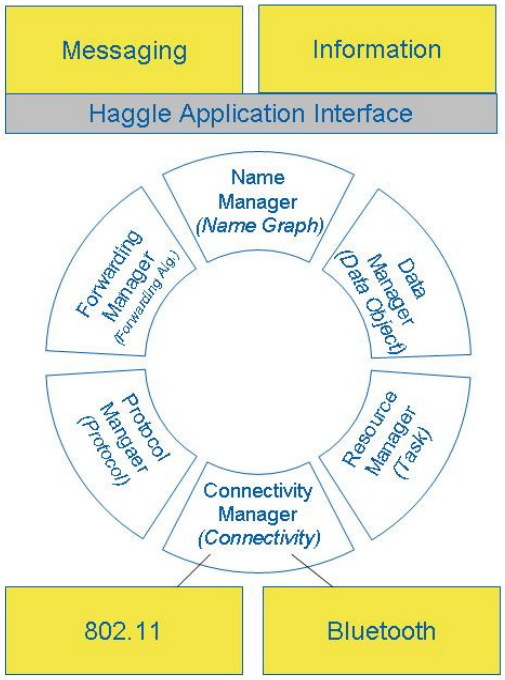


Figura 4-8 Arquitetura Haggle (Hui, 2008)

<u>*Gerenciador de Dados*</u>

Haggle mantém os dados dos usuários gravados de forma estruturada, e alcançável localmente e remotamente. Haggle propõe um sistema com características

que capacitam o sistema de arquivos e diretórios ao invés de delegar essa função a um sistema de arquivos independente. Uma estrutura de grafos foi projetada para alcançar esse objetivo. Os nós são chamados de objeto de dados (DO – *Data Object*) e as ferramentas de pesquisa são denominadas Filtros de DO (*DOFilters*). O Gerenciador de Dados é responsável por gerenciar a estrutura do grafo e ligar os DOFilters aos DOs correspondentes, executando essa tarefa toda vez que um novo DO for adicionado ou um novo DOFilter for criado. Esse aspecto permite a criação de um sistema de compartilhamento de dados entre dispositivos escalável e transforma os dispositivos em um *cache* de dados descentralizado.

O DO é a unidade básica de dados no Haggle. Essa unidade inclui atributos que são compostos por um par de tipo(string)-valor(binário ou string). DOs também possuem metadados que são expostos às aplicações, mas não necessariamente aos usuários. Os DOs podem ser ligados uns aos outros através de um grafo direto utilizando:

- Ligações para embutir dados ou inserir dados prévios que pertencem ao nível mais alto do objeto, como por exemplo, uma página Web e seus objetos embutidos – Figura 4-9. Desta forma, aplicações estruturam seus dados na forma de DOs, que são transmitidos como uma unidade de dados.
- Ligações entre aplicações com DO com o intuito de estabelecer uma relação de posse, a qual permitirá que as aplicações reivindiquem por um mesmo DO. Por exemplo, uma aplicação de galeria de fotos reivindica uma foto que é também reivindicada por uma aplicação de envio de mensagens.

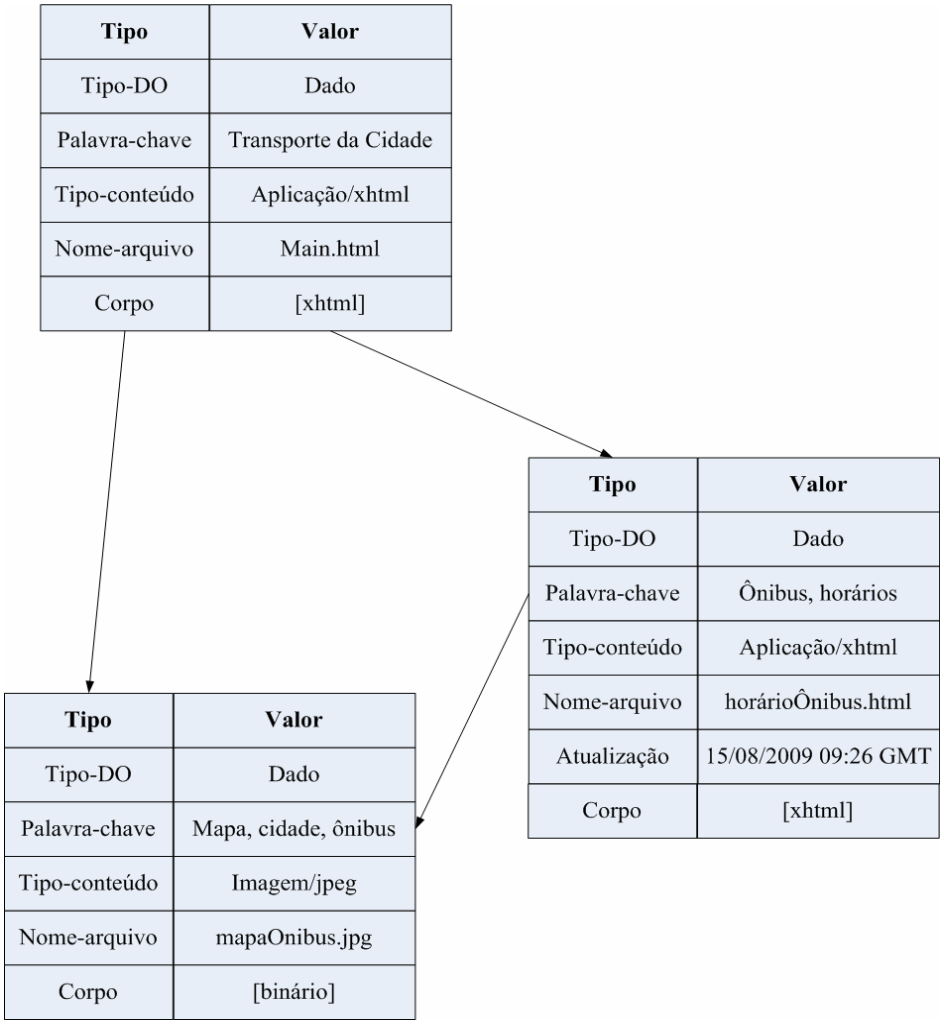


Figura 4-9 Grafo de DO para uma página na Web (adaptado de Rodrigues, 2007)

Uma vez que Haggle permite que aplicações reivindiquem por DOs, não existe a chamada "apagar". Ao invés disso, os DOs podem ter suas ligações removidas. Quando um DO tem sua última ligação removida, este é enviado a uma lixeira que não precisa ser esvaziada imediatamente se houver área de armazenamento suficiente. Os dados continuam disponíveis para as aplicações ou dispositivos, mas um número excessivo de DOs podem comprometer o desempenho das pesquisas. DOs não podem ser modificados depois de criados, isto faz com que problemas de consistência de *cache* sejam evitados em um ambiente de múltiplas aplicações. As aplicações devem criar e reivindicar DOs, mas nunca modificá-los.

Os filtros de DOs são formados por um conjunto de expressões regulares como "*queries*" sobre atributos de um objeto – por exemplo, para uma página Web um possível DO pode ser "mime-type" EQUALS "imagem/jpeg, aplicação/pdf" AND "palavra-chave" INCLUDES "horários, ônibus". Filtros de DO podem ser gravados desde que armazenados em DOs e também podem ser enviados remotamente permitindo a pesquisa de DOs, que estejam de acordo com o filtro, em dispositivos remotos. Haggle dá suporte a quatro tipos de filtros que podem ser utilizados para propósitos distintos:

- Filtro local temporário para pesquisar dados locais;
- Filtro local permanente que é um registro específico de dados de entrada de um determinado tipo;
- Filtro remoto temporário que requisita dados a serem enviados através da rede;
- Filtro permanente remoto que permite "inscrições" a um tipo particular de dados a serem registrados com outros nós – por exemplo, aplicações RSS.

Gerenciador de Nomes

Dispositivos em PSNs não podem depender de serviços distribuídos e infra-estruturados de nomes como DNS, o que requer que esses dispositivos possuam seus próprios repositórios escaláveis de nomes. Haggle não possui o método tradicional de aninhamento de cabeçalhos encontrados nos pacotes da camada física atual (por ex., endereço Ethernet, endereço IP, porta TCP, e campo SMTPs RCPT To descrevendo uma caixa postal para uma mensagem de e-mail). Isto se deve ao fato de que em Haggle não se poder assumir qual é o melhor caminho fim-a-fim, as conexões são oportunísticas e podem ser feitas em qualquer tipo de rede: *ad doc* ou infra-estruturada.

Desta forma, um sistema de nomeamento genérico deve ser criado, onde os nomes não são significativos somente em uma camada particular da pilha de protocolos, o que permite associação tardia dos nomes na camada do usuário, independentemente dos nomes endereçados nos níveis mais baixos. Essa meta é alcançada com a utilização dos grafos de nomes na arquitetura.

As estruturas Objetos de Nomes (NO – *Name Objects*) e grafos de nomes são utilizados no Haggle para representar nomes em DOs com um atributo especial contendo uma *string* com o nome. Existem várias fontes para criação de NOs:

- Aplicações existentes nos dispositivos dos usuários – por ex., aplicações de e-mail ou números de telefones;
- Conexões como Bluetooth ou 802.11 que podem fornecer nomes de outros dispositivos na vizinhança utilizando Haggle com serviços de descoberta. Quando um Gerenciador de Nomes detecta um nó Haggle nas proximidades, este pode enviar um Filtro DO requisitando o grafo de NOs específico do dispositivo. (como que dizendo: " Eu sou o usuário X, quem é você?");
- Extração de nomes dos objetos em trânsito;
- Requisição a servidores centralizados confiáveis na Internet quando há disponibilidade de acesso.

NOs podem estar ligados uns aos outros através de grafos de nomes. Grafos de nomes são descrições hierárquicas de todos os nomes conhecidos, que mapeiam desde nomes no nível do usuário, como nome pessoal, até nomes de nível mais baixo – os quais são utilizados para serem alcançados, como endereço de e-mail.

O grafo de nomes todo é utilizado como o "destinatário" de uma mensagem, tanto no nó origem quanto nos nós intermediários. Qualquer um dos nomes torna-se "endereço", se um protocolo adequado puder entender que aquele nome existe em um nó. Desta forma, uma mensagem trafegando entre nós, pode utilizar diferentes métodos de transmissão, uma vez que interfaces de transmissão distintas tornam-se disponíveis ao longo do percurso e do tempo. O grafo de nomes pode também incluir nomes oriundos de mais de um dispositivo do usuário. Cada nome de dispositivo será identificado pelo mesmo GUID (*Globally Unique Identifier* – Identificador Único Global), permitindo que um usuário seja encontrado em diferentes dispositivos e também, auxiliando na sincronização entre dispositivos do mesmo usuário. Além do mais, grafos de nomes são dinâmicos, permitindo que nós intermediários adicionem nomes ou dicas de encaminhamento (por ex., quando o dispositivo foi visto pela última vez).

Enquanto informações duráveis são armazenadas em grafos de nomes, informações passageiras (como endereço IP) são capturadas utilizando a noção de um

vizinho. Um vizinho identifica o próximo salto no caminho do DO para alcançar o nome. Vizinhos são descobertos pelas conectividades disponíveis, e suas propriedades são utilizadas por protocolos para estabelecer quais DOs de quais nomes podem ser enviados através uma dada comunicação.

Gerenciador de Conectividade

Haggle, como modelo para plataforma 4G, dá suporte a diferentes tecnologias de redes ao mesmo tempo, as quais diferem em custo, latência, energia, largura de banda, entre outras.

O Gerenciador de Conectividade encapsula e inicia objetos que representam interfaces de conectividade para cada tecnologia. Um objeto de conectividade comunica-se com o hardware específico da sua tecnologia que possui a funcionalidade de descoberta de vizinhos. Além do mais, há o gerenciamento dos canais de comunicação e as estimativas de custos no desempenho das operações em termos de dinheiro, bateria e tempo.

Um objeto de conectividade será tratado pelo Gerenciador de Recursos como um recurso agendável. Todas as operações passarão pelo Gerenciador de Recursos como "tarefas". Os objetos de conectividade interagem com protocolos, fornecendo a eles as listas de vizinhos (i.e., próximos saltos em potencial), obtidos durante o processo de descoberta de vizinhos. Haggle também difere os vizinhos "sem-Internet", os quais são próximos saltos potenciais utilizando Haggle, dos vizinhos "com-Internet", os quais são próximos saltos potenciais que aceitam IP para acesso à Internet.

Gerenciador de Protocolo

O Gerenciador de Protocolo encapsula e inicia um conjunto de protocolos (por ex., P2P, HTTP, SMS) que encaminham DOs para nomes. Isto diferencia a arquitetura Haggle das arquiteturas tradicionais em camadas, uma vez que os protocolos estão normalmente na camada da aplicação.

Os protocolos decidem se os vizinhos oferecidos pelos objetos de conectividades podem ser alcançados por eles, e em caso afirmativo, se é conveniente enviar o DO em espera nas circunstâncias apresentadas. Alguns protocolos também podem aceitar conexões de entrada (por ex., P2P e SMS). Nesses casos, os protocolos devem fornecer

a cada objeto de conectividade às informações mínimas para redirecionar os dados de entrada a esse protocolo.

Gerenciador de Encaminhamento

O Gerenciador de Encaminhamento disponibiliza APIs a aplicações para que estas enviem dados remotamente. Os algoritmos de encaminhamento são encapsulados e enviados às tarefas de encaminhamento, produzidas pelos protocolos, ao Gerenciador de Recurso.

As aplicações requisitam transferência de dados através da especificação de um conjunto de DOs (os cabeçalhos de um conjunto de DOs ligados uns aos outros) e um conjunto de NOs (os cabeçalhos de grafos de nomes). O Gerenciador de Encaminhamento cria um Objeto de Encaminhamento (*Forwarding Objec*t – FO), o qual é um DO com metadados sobre operação de encaminhamento, ligado ao grafo de NOs do destino, aos DOs de conteúdo, e a um grafo NO descrevendo o remetente.

Os metadados podem incluir tempos de expiração, número de saltos até expiração, informações de segurança, dicas de roteamento para algoritmos de encaminhamento, assim como uma lista de NOs aos quais o dado já foi enviado.

Uma vez criado um FO, um ou mais algoritmos de encaminhamento, que podem estar sendo executados em paralelo, devem determinar qual é o próximo salto mais adequado ao FO. Quando um FO é criado, os algoritmos de encaminhamento propõem um conjunto de tuplas {Protocolo, NO, Vizinho} ao qual o FO pode ser enviado, além de associar a cada tupla um "benefício de encaminhamento" escalável. O benefício de encaminhamento é uma estimativa da probabilidade de sucesso na entrega fim-a-fim dos dados, se um caminho for escolhido. O nível do benefício das tuplas muda continuamente, dependendo da disponibilidade de oportunidades de conexões, do conhecimento sobre informações do FO (por ex., se irá expirar em breve, já foi entregue), entre outros.

Uma vez que uma tarefa de encaminhamento é criada, o Gerenciador de Recurso será responsável por aceitar ou não as ações propostas por cada algoritmo na tarefa e também decidir quando deve ser executada, considerando o custo e o benefício da tarefa. Quando o Gerenciador de Recurso decide liberar uma tarefa, esta é entregue ao Gerenciador de Encaminhamento para que o protocolo, que enviará o FO ao NO destino através de um vizinho, a execute.

Existem dois tipos distintos de algoritmos de encaminhamento em PSNs:

- Algoritmo de Encaminhamento Direto (*Direct Forwarding Algorithm* – DFA), o qual possui 100% de benefício de encaminhamento, uma vez que a mensagem será encaminhada a um vizinho Internet (por ex., um ponto de acesso 802.11) ou diretamente ao destinatário. No segundo caso, a entrega do tipo armazena-e-encaminha pode possuir um atraso decorrente da mobilidade do usuário.
- Algoritmo de Encaminhamento Epidêmico (*Epidemic Forwarding Algorithm* – EFA), o qual é um tipo de algoritmo de inundação que difunde as mensagens a todos os dispositivos nas proximidades. Seu benefício de encaminhamento é sempre menor que 100%, uma vez que não há garantia de entrega ao destinatário. Os algoritmos epidêmicos podem ser utilizados com alguns controles utilizando conhecimento heurístico baseado na mobilidade dos usuários, como Osmosis (Hui et al., 2006).

O fato do benefício de encaminhamento em DFA ser 100%, não significa que esses algoritmos sejam sempre melhor que os algoritmos EFA. Analisando o exemplo onde uma carta deve ser entregue na Argentina a um amigo, e outro amigo está partindo de avião para encontrar o destinatário, qual é a melhor forma de entrega da carta? Pelo amigo comum ou pelo serviço de correio?

Gerenciador de Recurso

O Gerenciador de Recurso permite um gerenciamento centralizado e mais eficiente de recursos. Todas as atividades de rede de entrada e de saída de dados são propostas pelo Gerenciador de Recurso como “tarefas”. Assim, esse gerenciador analisa o custo/benefício de cada tarefa antes de decidir se esta deve ser executada e quando.

Esse tipo de gerenciamento permite ao Haggle ter algumas características vantajosas, como em execução de tarefas periódicas. Por exemplo, aplicação de e-mail que verifica caixa de entrada periodicamente, pode executar a verificação com maior freqüência quando existem mais recursos disponíveis, e com menor freqüência quando há tarefas mais importantes a serem executadas. O Gerenciador de Recurso também permite que o Haggle construa políticas nos dispositivos sobre consumo e economia de recursos, não delegando somente essas atividades às aplicações.

O Gerenciador de Recurso utiliza funções de chamada (*callback*) nas tarefas para reavaliação dos custos e benefícios no momento que antecede a decisão de execução, uma vez que esses valores podem variar com o tempo. As prioridades dos usuários como valor monetário máximo a ser pago ou valor limite de um recurso a ser compartilhado, pode ser considerado na decisão da execução da tarefa.

As tarefas podem ser assíncronas e também permanentes (por ex., descoberta de vizinhos), ou imediatas caso a tarefa deva ser executada momentaneamente ou não mais, como pode ocorrer quando uma conexão de rede de entrada é requisitada. No primeiro tipo, o Gerenciador de Recurso decide quando executar a tarefa e, se for permanente, o benefício da tarefa pode ser modificado ao longo do tempo para evitar inanição ou recusa de recursos a outras tarefas (por ex., dando prioridade a tarefas de encaminhamento com tempo de expiração a vencer).

O Gerenciador de Recurso é um exemplo claro de como a arquitetura do Haggle é "sem camadas", uma vez que as tarefas podem vir de gerenciadores distintos.

Aplicações em plataformas Haggle

Todo gerenciador Haggle disponibiliza um subconjunto de seus métodos para a interface com a aplicação. Para uma aplicação comunicar-se com um dado gerenciador, é necessário que ela invoque a função correspondente de cada gerenciador.

Um exemplo de aplicação em Haggle é a aplicação de e-mail. O suporte à aplicação de E-mail em Haggle consiste de dois componentes: um *proxy* SMTP/POP para interface com os clientes de e-mail, e protocolos SMTP e POP internos ao Haggle que comunicam-se com servidores de e-mail (Valle, 2007).

Quando um usuário envia um e-mail através da plataforma Haggle, o *proxy* SMTP aceita o e-mail oriundo do cliente de e-mail do usuário e transforma-o em um FO com um DO que inclui o e-mail todo. Por outro lado, o *proxy* POP mantém escuta na porta 110 para as conexões de entrada do cliente de e-mail do usuário. Quando a tarefa de verificação de entrada de novos e-mails é executada, o *proxy* POP utiliza os DOFilters locais do Gerenciador de Dados para pesquisar por DOs que representam e-mails que ainda não foram enviados ao cliente de e-mail e reconstrói a mensagem de e-mail que encontra-se na forma de DOs para a forma de e-mail padrão. A Figura 4-10 ilustra algumas comunicações possíveis para envio de e-mail em Haggle.

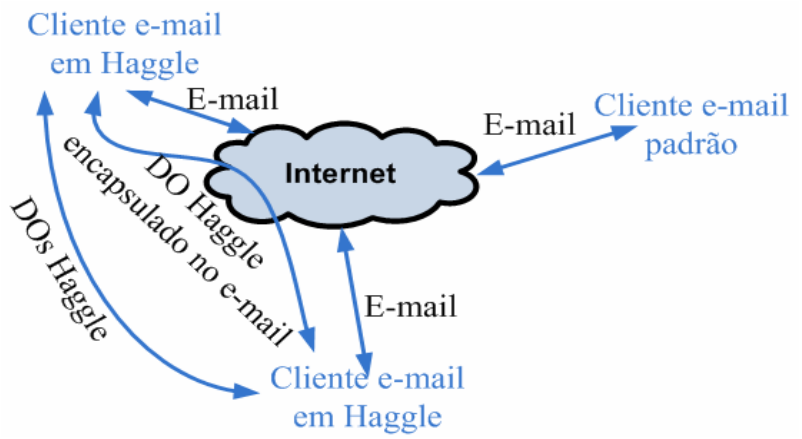


Figura 4-10 Aplicação de e-mail no Haggle

Outras aplicações incluem as aplicações assíncronas. As aplicações Web, por exemplo, possuirão novas funcionalidades assíncronas em Haggle. Utilizando Haggle para navegar na Web, será possível ter acesso ao *cache* de dados local do dispositivo do usuário ou dos vizinhos, sem a necessidade de conexão com a Internet. Isto é possível porque os DOFilters permanentes no Gerenciador de Dados, armazena DOs com informações de um determinado tipo, como de uma página Web.

Outra opção oferecida pelo Haggle é a distribuição de nós fixos com *cache* de Web interno em pontos estratégicos. Esses nós podem prover serviços Web, informações turísticas ou anúncios (por ex., restaurantes) sem o uso da Internet. Para isso, basta inscrever o dispositivo Haggle nesse tipo de serviço e fazer as atualizações das informações quando estiver dentro do alcance de alguns desses nós.

Quanto às aplicações P2P e sincronização de arquivos, Haggle propõe aplicações transparentes aos usuários. Através de um diretório compartilhado ou sincronização de arquivos, os dispositivos podem ser sincronizados com outros dispositivos ou diretórios através da Internet ou de conexões locais.

Desta forma, o usuário ao adentrar na área de rede local de sua residência, terá seus arquivos e aplicações (agenda de endereços, calendário, etc.) sincronizados automaticamente, entre seu computador de mesa e seu dispositivo móvel. O mesmo

pode ocorrer entre amigos durante o horário de almoço, ou de trabalho, até mesmo em salas diferentes, utilizando uma conexão disponível (como WiFi) ou via Internet como em aplicações P2P atuais[48].

4.3.3.3 Integração entre Haggle, SOHand e Y-Comm

O modelo Haggle pode ser integrado a uma plataforma 4G, com os modelos SOHand e Y-Comm, dando suporte a *handovers* oportunísticos. O item 4.3.2.2 discorre sobre a integração SOHand e Y-Comm, a Figura 4-11 complementa, no lado do dispositivo do usuário, ou seja, na Rede Periférica, as relações entre os gerenciadores nos três modelos. O Gerenciador de Encaminhamento Haggle complementa o Gerenciador de Políticas Y-Comm e o Gerenciador de Negociação SOHand com as informações relevantes a *handovers* oportunísticos. No Ambiente de Aplicação Y-Comm, são disponibilizadas as interfaces Haggle para Aplicações, possibilitando que as aplicações utilizem DO (*Data Object*) para armazenamento e comunicação de dados. O Gerenciador de Recursos Haggle está relacionado com a camada de Handover Vertical Y-Comm – e, por equivalência, com o Gerenciador de Handover SOHand – sinalizando quando uma tarefa envolvendo *handover* oportunístico deve ser executada.

[48] Microsoft Folder share, https://www.foldershare.com/.

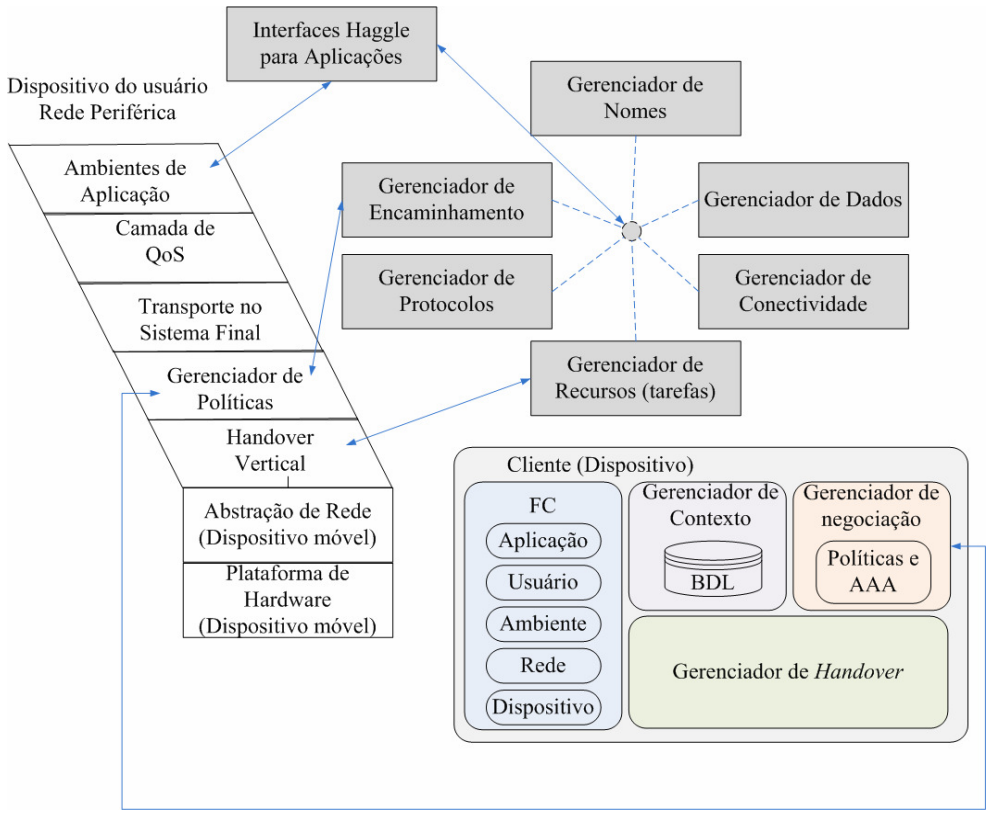


Figura 4-11 Integração entre o modelo Haggle e os modelos Y-Comm e SOHand

4.4 Considerações finais

Os modelos para plataformas 4G na literatura, incluindo os três apresentados neste capítulo, seguem várias recomendações do ITU-T (*International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*). Alguns aspectos dos modelos são inovadores e devem ser adotados nas plataformas futuras. Porém, algumas sugestões do ITU-T devem ser observadas para um desenvolvimento e funcionamento integrado nos ambientes 4G. Conforme apresentadas no Capítulo 3, itens 3.3.5 Gerenciamento de Rede e 3.3.10 Interoperabilidade de serviços e redes em 4G, duas sugestões devem ser consideradas nos modelos:

- Inclusão e aplicação de novos conceitos arquiteturais e novas tecnologias, como tecnologias para padronização de vocabulário.
- Desenvolvimento de procedimentos e documentações relevantes, incluindo o desenvolvimento de ferramentas e uso de tecnologias de normalização de conceitos.

No próximo capítulo é apresentada a tecnologia de ontologias para padronização/normalização de vocabulário/conceitos em plataformas 4G adotada no trabalho da tese; e como as ontologias serão utilizadas nos modelos estudados.

Capítulo 5 Tecnologia Ontologia

5.1 Considerações Iniciais

Plataformas integradoras em redes 4G devem ser capazes de resolver a interoperabilidade semântica entre as bases de dados de diferentes provedores de serviços, nas quais um fato pode ter mais de uma descrição. Sistemas distintos, quando integrados, precisam possuir o mesmo entendimento do modelo real e dos significados, além dos modelos embutidos nas diversas fontes de informação (Fonseca et al., 2000). Com o entendimento dos modelos, as tarefas de gerenciamento e de geração de conhecimento se tornam mais fáceis e menos custosas.

Nos últimos anos, pesquisadores têm proposto a aplicação de diferentes tecnologias a fim de facilitar as tarefas de geração e gerenciamento de conhecimento. A Ontologia é uma dessas tecnologias. O conceito de Ontologia surgiu originalmente na Filosofia e tem sido utilizada nas ciências da computação desde o final dos anos 70, quando foi introduzida pelo Prof. John McCarthy[49] da Universidade de Stanford (Martimiano, 2006).

Segundo a Filosofia, ontologia é definida como "a explicação sistemática da existência - o estudo do ser". Uma ontologia é utilizada para descrever as coisas naturais do mundo e a existência dos seres em si.

Em outras áreas, como Computação, Engenharia e Medicina, ontologias podem ser utilizadas por aplicações que necessitam compartilhar conhecimento. Para tanto, utiliza-se um vocabulário específico e um conjunto de axiomas[50] lógicos, que não apenas fornecem uma hierarquia sintática e semântica dos conceitos desse vocabulário,

---

[49] Página Web de John McCarthy : http://www-formal.stanford.edu/jmc/

[50] Definição segundo "Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa" para Axioma: s.m., premissa considerada necessariamente evidente e verdadeira, fundamento de uma demonstração, porém ela mesma indemonstrável, originada, segundo a tradição racionalista, de princípios inatos da consciência ou, segundo os empiristas, de generalizações da observação empírica. O princípio aristotélico da contradição ("nada pode ser e não ser simultaneamente") foi considerado desde a Antiguidade um axioma fundamental da filosofia.

mas que também restringem a interpretação e o uso desses conceitos. Uma ontologia também permite, através de regras, a inferência de conceitos e relacionamentos de um domínio de conhecimento (Noy e McGuinness, 2001).

Diversos pesquisadores têm estudado o uso de ontologias em diversos domínios de conhecimento, tais como: documentação de informações de organizações (Souza Jr et al., 2008), comércio eletrônico (Ning e Shihan, 2006; Eulália et al., 2002; Herrera et al., 2002), química (López et al., 1999), segurança (Martimiano et al., 2008), entre outros (Chabeb et al., 2009; Sarraipa et al., 2008; Huang, 2007; Martin, 2007; Bulcão e Pimentel, 2005), mostrando o potencial dessa abordagem de representação de conhecimento.

Na definição de uma ontologia para redes de computadores, por exemplo, deve-se incluir a especificação dos seguintes conceitos e relacionamentos para as redes: cabeada, sem fio, nome da tecnologia, padrão associado, tipo de autenticação, parâmetros de associação, alcance, freqüência, entre outros. Na ontologia, esses conceitos são representados por classes, ou por atributos ou por relacionamentos.

Além disso, a ontologia também define uma hierarquia de classes, onde subclasses herdam características da superclasse. Por exemplo, a classe Rede pode ser especializada em Cabeada e Sem-fio. Pode-se ainda restringir que redes têm um único padrão associado, cujo valor não pode ser nulo. Ainda, pode-se especificar que um fabricante (Fabricante) comercializa (comercializa tecnologia) várias tecnologias utilizando restrição de cardinalidade 1:N. Pode-se ainda especificar que uma tecnologia é comercializada (é comercializada) por vários fabricantes com cardinalidade de 1:N. É possível também definir que um relacionamento é inverso de outro relacionamento. Neste exemplo, se uma tecnologia é comercializada por um determinado fabricante, esse fabricante comercializa aquela tecnologia. Assim, os relacionamentos “comercializa tecnologia” e “é comercializada” são inversos.

O conceito e benefícios da tecnologia ontologia são descritos a seguir, incluindo a engenharia de ontologias, algumas linguagens de representação, ferramentas para editar e avaliar ontologias, e ontologias relacionadas à solução apresentada na tese.

5.2 O Conceito de Ontologia

Uma definição amplamente aceita foi estabelecida por Thomas Gruber[51]: "Uma ontologia é uma especificação formal sobre uma conceituação". Especificação de ontologia é uma descrição formal, uma coleção de termos e seus relacionamentos entendíveis por máquinas expressados através de uma linguagem em um arquivo. Conceituação refere-se ao modelo abstrato de um domínio que identifica conceitos.

Ontologias propiciam o entendimento comum sobre um domínio, declaram semânticas explícitas, montam diretrizes expressivas, dão suporte ao compartilhamento da informação e possibilitam um novo nível de serviços.

Entendimento comum sobre um domínio. Ontologias fornecem um entendimento comum e compartilhado sobre um domínio aplicado a pessoas e a aplicações distribuídas e heterogêneas (Lacy, 2005). O formalismo do entendimento comum fornecido por ontologias permite o processamento computacional das informações sobre o domínio descrito pela ontologia, formando a base semântica. No caso da Web, a Web Semântica é baseada em ontologias para melhorar a qualidade do conteúdo semântico formal, permitindo a utilização de agentes para interação com serviços e na execução de tarefas "inteligentes" (Antoniou e Harmelen, 2004).

Semânticas explícitas. Semânticas são descrições formais de termos e seus relacionamentos para dar suporte ao entendimento por máquinas. Tradicionalmente, as informações semânticas ficam "escondidas" e "amarradas" ao código dos softwares ou em tabelas de bases de dados. Explicitar a definição de semântica reduz ambigüidade, resultando em um processo simples para os desenvolvedores de software na codificação de aplicações que interpretam e integram informações. Semânticas explicitadas possibilitam que softwares (por ex: aplicações Web e agentes de software) entendam a informação, façam conclusões explícitas sobre o domínio, reduzam ambigüidade na interpretação, e possibilitem interoperabilidade (integração e troca de informações entre sistemas em tempo de execução).

---

[51] Páginas Web de Thomas Gruber: http://tomgruber.org/bio/short-bio.htm

Expressividade. A expressividade da representação de uma informação é a abrangência de uma descrição. Diretrizes expressivas são necessárias para fornecer uma descrição útil do domínio. Essas diretrizes devem ser expressivas o suficiente para garantir a interpretação por softwares. Uma linguagem expressiva também é necessária para as pessoas. Uma ontologia fornece *markup* sobre o conteúdo das assertivas. A linguagem deve ser expressiva o suficiente para representar semânticas formais e possuir propriedades de manipulação do conhecimento para dar suporte a inferências eficientes.

Compartilhamento da informação. Ontologias dão suporte ao compartilhamento, utilização e reúso da informação. O compartilhamento é possível através da descrição do domínio com semânticas explicitadas que aceitam diretrizes expressivas. Softwares compatíveis com a linguagem na qual as ontologias foram escritas podem interpretá-las, podendo manipular informações internamente e alcançar a interoperabilidade com outros softwares, além de fazer o mapeamento semântico com outras fontes de informações. Compartilhando uma ontologia, as aplicações possuem um entendimento comum sobre uma dada informação.

Novo Nível de Serviços. A representação explícita de informações semânticas através de ontologias possibilita a criação de um novo nível de serviços como verificação, justificação e análise de *gap*. Os axiomas da ontologia e as regras possibilitam o serviço de verificação. Por exemplo, um agente pode utilizar os axiomas e regras para descobrir o recurso equivalente em outro provedor, possibilitando a interoperabilidade de um serviço. Justificação refere-se à geração de descrições para pessoas dos processos de inferências, isto é, como o resultado foi inferido. Análise de *Gap* é relacionado à incapacidade de descobrir recursos necessários para prover interoperabilidade de um serviço, explicitando os pontos falhos que devem ser trabalhados para melhoria contínua, extensão e adaptação da ontologia.

Os relacionamentos entre os conceitos em ontologia podem ser hierárquicos (relações do tipo *isA*), representando generalização (ou hiperonímia) e especialização (ou hiponímia), ou não hierárquicos, que são aqueles que representam eventos.

O desenvolvimento de uma ontologia se assemelha ao processo de desenvolvimento de um sistema especialista ou um sistema baseado em conhecimento. Assim como nesses sistemas, é necessário que um especialista do domínio de

conhecimento acompanhe o processo de desenvolvimento da ontologia, a fim de validar os conceitos e relacionamentos que estão sendo modelados. Além do especialista, livros, artigos e trabalhos relacionados ao domínio devem ser consultados.

Independentemente do domínio representado pela ontologia e das diferenças existentes, alguns elementos são comuns (Chandrasekaran et al., 1999):

- Existem **objetos** do mundo real a serem representados. Esses objetos são traduzidos em conceitos na ontologia e esses conceitos podem ser agrupados em classes.
- Objetos possuem **atributos** que podem assumir valores variados.
- Objetos podem se **relacionar** com outros objetos.
- Atributos e relacionamentos podem mudar.
- Existem **eventos** que podem ocorrer em determinados instantes.
- Existem **processos** que podem ocorrer ao longo do tempo.
- O mundo e seus objetos podem estar em diferentes **estados**.
- Eventos podem **causar** outros eventos ou estados como **efeitos**.
- Objetos podem ser decompostos ou fazerem parte de outros objetos (**agregação**), ou podem ser especializados em outros objetos (**especialização**).

Cada um desses elementos é instanciado dependendo única e exclusivamente do domínio que a ontologia está representando.

5.3 O Uso de Ontologias

O grau de formalidade pelo qual um vocabulário é criado varia. Segundo Uschold e Gruninger (1996), esse grau de formalidade pode ser:

- Altamente Informal: Vocabulário é expresso unicamente em língua natural.
- Semi-informal: Vocabulário é expresso em alguma língua natural restrita e estruturada, reduzindo ambigüidade.
- Semi-formal: Vocabulário é expresso em uma linguagem formalmente definida.
- Rigorosamente Formal: Vocabulário é expresso cuidadosamente em conceitos com semântica formal, teoremas e provas para garantir completude.

Independentemente de seu grau de formalidade, para que uma ontologia seja útil, é preciso que ela seja compreendida por seus usuários. Complexas equações matemáticas e grandes árvores de elementos inter-relacionados não motivam usuários a extraírem informações e conhecimento úteis de uma ontologia.

Para Bézivin (1998), ontologias são consideradas uma evolução perante vocabulários, dicionários de dados, esquemas de bancos de dados e taxonomias. Um vocabulário é um conjunto de palavras sem caráter universal e formal, utilizado apenas em um contexto específico. Um dicionário de dados é um vocabulário técnico utilizado no contexto específico de uma aplicação. Um esquema de banco de dados é orientado a uma determinada aplicação que define as entidades, seus atributos e relacionamentos. Uma taxonomia é uma hierarquia de conceitos baseada em relacionamentos de especialização (*isA*) e composição (*partOf*). Já uma ontologia compreende o conhecimento de um domínio particular sob a forma de conceitos e relacionamentos, ou seja, é orientada a um domínio.

O desenvolvimento de uma ontologia geralmente começa com o uso de uma taxonomia. Taxonomias bem estruturadas auxiliam a modelagem dos elementos de uma ontologia, dos diferentes pontos de vista da interpretação humana, além de facilitar reúso e integração. Por outro lado, taxonomias mal estruturadas causam um efeito contrário, estabelecendo modelos confusos e de difícil reúso e integração (Welty et al., 2001).

Mas, afinal, quais são os benefícios de se utilizar uma ontologia ao invés de se usar simplesmente uma taxonomia? Diversas pesquisas têm defendido os benefícios do uso de ontologias. Segundo Noy e McGuinness (2001), os principais benefícios são:

- Compartilhamento do entendimento comum a diversas pessoas ou agentes de software de um domínio de conhecimento.
- O uso de definições explícitas e formais facilita a manutenção do conhecimento, possibilita melhor compreensão de um domínio, facilitando o reúso da ontologia (ou de parte dela) e permitindo sua extensão (inclusão de novos conceitos).
- Separar o domínio de conhecimento de uma aplicação específica, possibilitando que uma única ontologia possa ser utilizada em diferentes aplicações de um mesmo domínio. Por exemplo, uma ontologia que descreve a tarefa de negociação de um dispositivo móvel com um provedor de acesso

específico, pode ser utilizada por diferentes dispositivos. Neste caso, o domínio de conhecimento é "negociação de acesso com provedor X".

Além dos benefícios de compartilhamento, reúso e separação entre domínio e aplicação, Uschold e Gruninger (1996) apontam ainda:

- Uma ontologia permite a interoperabilidade entre diferentes sistemas, nos quais diferentes usuários compartilham dados e/ou utilizam diferentes ferramentas.
- Uma representação formal torna possível a geração automática de informações e conhecimento mais consistentes e mais confiáveis.
- O conhecimento compartilhado pode ajudar no processo de identificar requisitos e definir uma especificação para Sistemas de Informação. Esse fato é especialmente verdadeiro quando os requisitos envolvem diferentes grupos utilizando diferentes terminologias em um mesmo domínio. Por exemplo, no domínio da cana-de-açúcar, cada usina define sua própria terminologia.

Segundo Menzies (1999), a estruturação formal e o reúso podem, no entanto, ter um alto custo. Isso porque, segundo modelos de estimativa de custo para adequação de sub-rotinas de software em novos sistemas, o tempo necessário para que um novo usuário adquira conhecimento suficiente para utilizar a sub-rotina é o tempo equivalente a reescrever 60% da sub-rotina. Esse tempo está relacionado com a necessidade do usuário em se familiarizar com as sub-rotinas.

Ainda segundo Menzies, não há garantia de que tais resultados possam ser considerados no reúso de ontologias, porém servem para alertar que a possibilidade de se utilizar uma ontologia já existente, ou parte dela, não garante por si só o aumento de produtividade.

Ontologias precisam ser estudadas e compreendidas antes de serem utilizadas e o tempo de aprendizado pode ser significativo.

5.4 Metodologia de desenvolvimento

Existem metodologias que auxiliam no desenvolvimento de uma ontologia, a metodologia utilizada foi a METHONTOLOGY proposta por Fernández (Fernández et al., 1997). Essa metodologia guiou o processo de desenvolvimento. Basicamente, suas

fases são: planejamento, especificação, conceituação, formalização, integração, implementação, manutenção, aquisição do conhecimento, documentação e avaliação. Como em modelos de desenvolvimento e integração de sistemas, proposto em padrões como o CMMI (2009) – *Capability Maturity Model Integration* – essas fases são cíclicas e podem se intercalar, gerando vários artefatos e protótipos evolutivos. A Figura 5-1 ilustra o ciclo de vida de uma ontologia desde o seu planejamento até o produto final – codificado em uma linguagem formal, homologado e documentado. As atividades de aquisição do conhecimento, documentação e avaliação ocorrem em todas as fases do processo. A seguir, cada uma das fases (atividades e estados) é descrita:

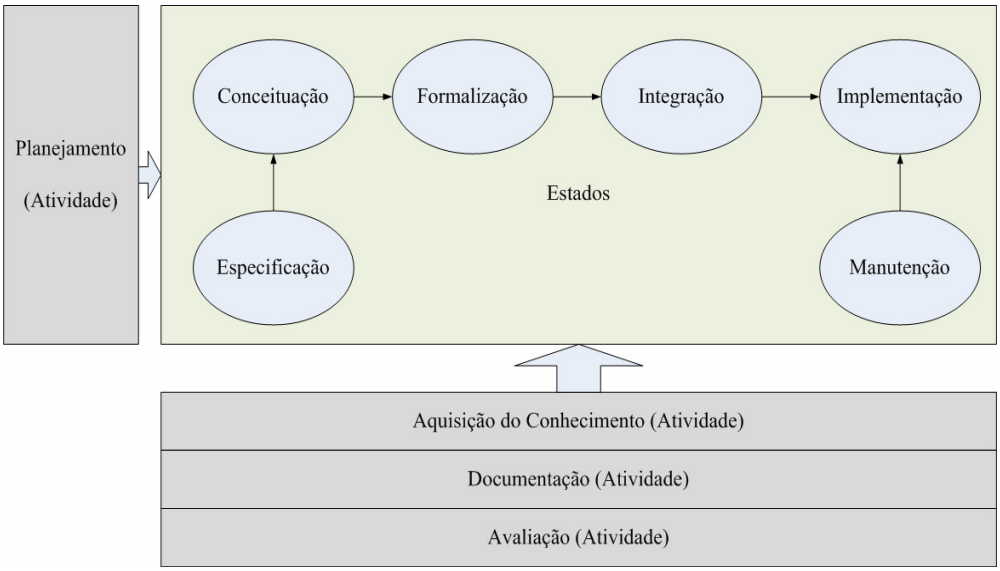


Figura 5-1 Atividades e estados da METHONTOLOGY (adaptado de Fernández et al., 1997)

Planejamento. Essa atividade é relacionada ao plano de desenvolvimento da ontologia, ou seja, o cronograma durante todo o processo – tarefas principais, datas, períodos e recursos. No decorrer das fases, ajustes e justificativas são adicionados ao planejamento.

Especificação. Essa fase tem como objetivo gerar artefatos com uma descrição informal ou semi-formal ou formal escritos em linguagem natural que detalhem qual é a finalidade da ontologia, seus cenários, usuários, etc.; qual será o grau de formalismo na criação da ontologia, a linguagem que será utilizada para seu desenvolvimento, o grau de semântica que será aplicada; o domínio a ser tratado, termos a serem descritos, as

características a serem consideradas e sua granularidade. O documento gerado nessa fase deve ser conciso, ou seja, com todos os termos relevantes, sem duplicidade e sem termos irrelevantes; ser o mais completo possível com relação aos termos, a granularidade de cada termo e a descrição do problema a ser tratado; e consistente quanto aos termos e suas descrições dentro do domínio explorado.

Conceituação. Essa fase consiste na estruturação do conhecimento sobre o domínio da ontologia através da construção de um modelo conceitual que descreve o problema e a solução proposta com o uso de termos do vocabulário descrito no documento gerado na atividade de especificação. A primeira tarefa da conceituação é a elaboração de um glossário de termos com conceitos, instâncias, verbos e propriedades. Durante o desenvolvimento da ontologia, novos termos podem surgir, havendo a necessidade de atualizar o glossário dessa fase e o documento de especificação da fase anterior. Com o glossário finalizado, devem ser agrupados conceitos/verbos que possuem afinidades e separados os que não possuem. Desta forma, serão criados grupos e hierarquias para verbos e conceitos. O modelo conceitual permitirá uma visão do que deverá ser desenvolvido, bem como o que pode ser compartilhado, reutilizado com outras ontologias.

Formalização. Nessa fase é utilizada uma linguagem formal ou semi-formal de representação para formalizar os elementos do domínio explorado que fazem parte do modelo conceitual gerado na fase anterior.

Integração. Uma das vantagens do uso de ontologias é a facilidade de reúso. Nessa fase outras ontologias do mesmo domínio podem ser integradas à ontologia formalizada.

Implementação. Nessa fase deve ser escolhida a linguagem para codificação da ontologia. O ambiente de desenvolvimento deve possuir mecanismos que dêem suporte à construção da ontologia e sua validação com todos os requisitos, relacionamentos, restrições e integrações documentados nas fases anteriores.

Manutenção. A qualquer momento podem ser solicitadas inclusões e alterações de definições na ontologia desenvolvida. A documentação dos resultados das fases anteriores auxiliará na boa evolução da ontologia.

Aquisição do conhecimento. Essa atividade é mais intensa nas primeiras fases do projeto (planejamento, especificação e conceituação) onde são definidos os termos,

significados e relacionamentos dentro do domínio. Porém, ocorre de forma branda durante as outras fases.

Avaliação. A metodologia METHONTOLOGY propõe a prototipagem evolutiva durante o desenvolvimento, para cada protótipo deve ocorrer a atividade de avaliação para garantir a conformidade do protótipo com a especificação e a modelagem. Os artefatos de cada fase devem ser também avaliados quanto à sua coerência e completude.

Documentação. Ocorre durante todo o processo de desenvolvimento, desde o planejamento até a manutenção.

5.5 Linguagens de Representação

Ontologias são construídas com a ajuda de linguagens próprias para sua construção. A princípio, qualquer linguagem pode ser usada para formalizar ontologias. A escolha de uma linguagem deve ser feita com base na sua adequação aos propósitos de representação da ontologia. Para o desenvolvimento das ontologias deste trabalho, duas linguagens foram utilizadas e são descritas a seguir: a linguagem RDF (*Resource Description Framework*) (W3C Recommendation, 1999), para armazenar as informações compartilhadas nas plataformas 4G, que são as instâncias das ontologias, e a linguagem OWL (*Web Ontology Language*) (W3C Recommendation, 2004; Lacy, 2005) para formalizar a ontologia. A linguagem OWL é recomendada pelo consórcio W3C (*World Wide Web Consortium*) para Web Semântica e tem ganhado muita popularidade no desenvolvimento de ontologias (Zhao et al., 2008).

As informações a serem compartilhadas que instanciam as classes e propriedades das ontologias dos modelos de referência (Y-Comm, SOHand, e Haggle) são mantidos em um arquivo RDF e são dinamicamente integrados ao processo de validação. O Capítulo 6 explica com mais detalhes esse processo.

5.5.1 Resource Description Framework (RDF) e Esquema RDF

O uso de metadados sobre um recurso Web permite o conhecimento de seu significado, características, uso, localização e relacionamentos com outros recursos. O grupo de trabalho em Web Semântica (Berners-Lee et al., 2001) do W3C tem dedicado

grande parte de seus esforços na descrição e representação de metadados relacionados a qualquer recurso Web. Nesse contexto, o padrão RDF (W3C Recommendation, 1999) foi definido e envolve três componentes: o modelo de dados, a sintaxe para intercâmbio de metadados e a linguagem de descrição de vocabulários ou esquemas.

RDF é uma aplicação XML (*Extensible Markup Language*) (Bray et al., 2008) que serve como base para o processamento de metadados (dados sobre dados), ou seja, é um framework que permite descrever qualquer recurso (e seu conteúdo) na Web. O padrão XML permite estruturar dados em hierarquias modeladas pelo próprio desenvolvedor da aplicação. Documentos escritos em XML podem ser estruturados pelo uso de Esquema XML (XML Schema) (Fallside e Walmsley, 2004) (meta-documento para instanciar documentos XML). Tal característica permite que agentes computacionais (inteligentes) interpretem o significado dos dados por meio das *tags* associadas a ele.

Enquanto HTML (*HyperText Markup Language*) (Kesteren e Stachowiak, 2007) descreve conteúdo em conceitos sobre como os dados são mostrados, por exemplo, a letra "<p>" é uma *tag* que inicia um novo parágrafo, XML descreve conteúdo em conceitos sobre quais dados são descritos, por exemplo, o conteúdo da tag "<phonenum>" é identificado como um número de telefone. Nesse caso, dependendo da aplicação, o número de telefone pode ser armazenado, mostrado ou discado. Portanto, um arquivo XML pode ser processado como um dado por um programa ou pode ser armazenado em uma base de dados, ou, assim como um documento HTML, pode ser simplesmente exibido. Documentos XML podem ser utilizados em conjunto com documentos HTML em diversas aplicações Web. RDF, ao contrário de XML, permite a representação de relações entre objetos e possui melhores funcionalidades para representar semântica. Documentos RDF são compostos por declarações sobre os recursos ou objetos representados, sendo que cada declaração é composta pelo objeto, uma propriedade e o valor dessa propriedade, que pode ser outro objeto (relação entre objetos). Assim como XML, RDF também permite que agentes computacionais (inteligentes) interpretem o significado dos dados por meio das tags associadas a ele.

A base conceitual de RDF é o seu modelo de dados que, por sua vez, constitui-se de declarações sobre recursos. Uma declaração corresponde a uma tripla sujeito (*subject*), predicado (*predicate*) e objeto (*object*). Sujeito é um recurso identificado por uma URI (*Uniform Resource Identifier*)[52]. Um predicado pode ser uma propriedade do recurso ou um relacionamento entre um recurso e um objeto. Um objeto pode ser outro recurso relacionado, ou o valor da propriedade do recurso. Quando valor de uma propriedade, o objeto é um literal, geralmente, uma cadeia de caracteres. O conjunto de triplas forma um grafo RDF, sendo os nós desse grafo o conjunto de Recursos (objetos) e Valores, e os arcos o conjunto de propriedades (atributos), como mostra a Figura 5-2.

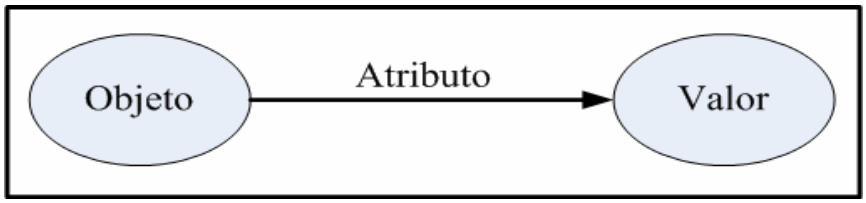


Figura 5-2 Assertiva de um Grafo RDF (adaptado de Antoniou e Harmelen, 2004)

O ponto forte do modelo de dados RDF está em sua generalidade: estruturas de dados para hiperdocumentos são facilmente mapeadas para grafos rotulados dirigidos, idéia central desse modelo de dados. Sob a representação de grafo, o objeto e o valor são representados por elipses, e o atributo por um arco que conecta o objeto ao seu valor. O objeto e o atributo são identificados por URIs (ou URLs – *Unified Resource Locator*, ou endereço Web), e o valor pode ser um outro recurso (objeto) ou um literal. O retângulo é a assertiva da tripla objeto-atributo-valor.

A Figura 5-3 mostra a representação gráfica de um grafo RDF com seis triplas. O valor de uma assertiva pode ser o objeto de outra assertiva. O valor de um nó do grafo pode ser um endereço Web ou um literal.

[52] URI é um mecanismo padrão de endereçamento e associaçãao de nomes a recursos na Web (Berners-Lee et al., 1998).

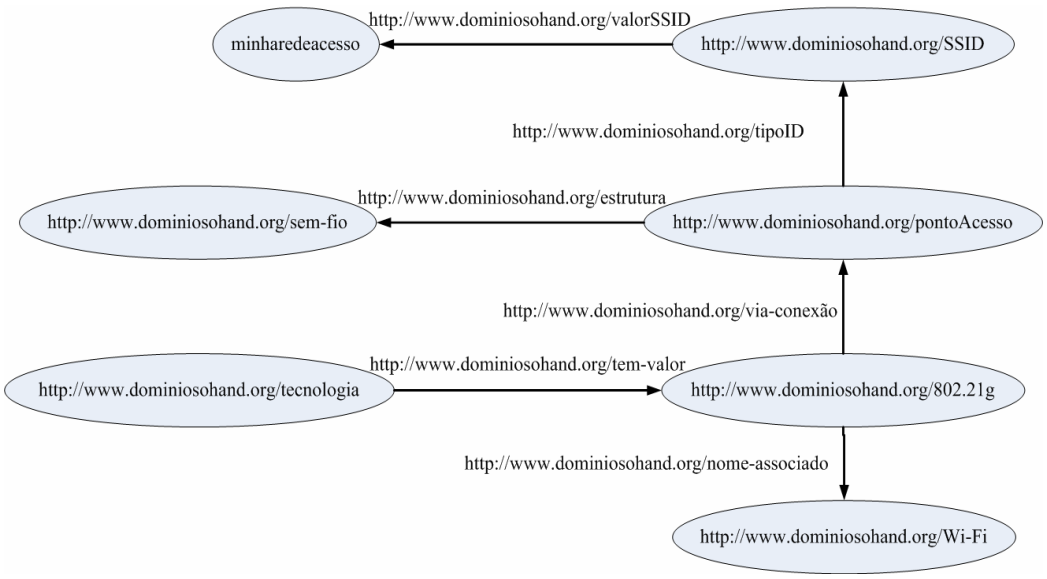
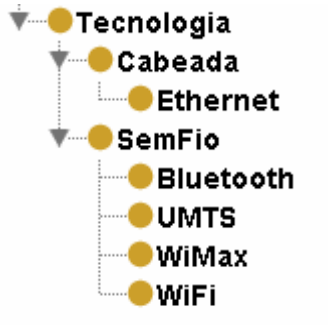


Figura 5-3 Representação de um grafo RDF com seis assertivas (triplas)

Enquanto RDF define um modelo para descrição de relações entre objetos em termos de propriedades e valores, o relacionamento entre propriedades e recursos com suas respectivas semânticas é descrito no Esquema RDF (RDF Schema) (Antoniou e Harmelen, 2004). O Esquema RDF descreve regras para o uso das propriedades do RDF, definindo um vocabulário de domínio e organizando esse vocabulário em algum tipo de hierarquia. O Esquema RDF permite, ainda, modelar uma aplicação a partir de um esquema conceitual representando hierarquias entre classes e seus relacionamentos. A Figura 5-4 mostra um exemplo de Esquema RDF conforme a hierarquia de classes representada na mesma figura. A Classe (`rdfs:Class`)"Tecnologia" é a mais geral e possui duas subclasses (`rdfs:subClassOf`): "Cabeada" e "SemFio". A classe "Cabeada" possui uma subclasse denominada "Ethernet". Por fim, a classe "SemFio" possui quatro subclasses: "Bluetooth", "UMTS", "WiMax" e "WiFi".




```
<rdf:RDF
       xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
       xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" >

<rdfs:Class rdf:ID="Tecnologia" />

<rdfs:Class rdf:ID="Cabeada">
       <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Tecnologia"/>
</rdfs:Class>

<rdfs:Class rdf:ID="Ethernet">
       <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Cabeada"/>
</rdfs:Class>

<rdfs:Class rdf:ID="SemFio">
       <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Tecnologia"/>
</rdfs:Class>

<rdfs:Class rdf:ID="Bluetooth">
       <rdfs:subClassOf rdf:resource="SemFio"/>
 </rdfs:Class>

 <rdfs:Class rdf:ID="UMTS">
       <rdfs:subClassOf rdf:resource="#SemFio"/>
 </rdfs:Class>

  <rdfs:Class rdf:ID="WiMax">
       <rdfs:subClassOf rdf:resource="#SemFio"/>
 </rdfs:Class>

<rdfs:Class rdf:ID="WiFi">
       <rdfs:subClassOf rdf:resource="#SemFio"/>
  </rdfs:Class>
</rdf:RDF>
```

Figura 5-4 Exemplo de um Esquema RDF conforme representação de hierarquia de classes

Apesar da expressividade de RDF e de Esquema RDF, conforme os exemplos dados, os relacionamentos no RDF (triplas objeto-atributo-valor) e as hierarquias de classes e propriedades no Esquema RDF, com definições de domínios e imagem dessas propriedades, não são suficientes para a expressividade necessária em representação semântica (Antoniou e Harmelen, 2004).

Grupos de pesquisa identificaram a necessidade de linguagens de modelagem de ontologias que sejam mais expressivas que RDF/RDFSchema. Gómez-Pérez e Corcho (2002), apresentam uma comparação entre as linguagens definidas para Web Semântica por esses grupos de pesquisa. Para realizar essa comparação, os autores formalizaram em cada uma dessas linguagens, uma ontologia para comércio eletrônico. Segundo Gómez-Pérez e Corcho, a existência de ferramentas para edição da ontologia com a linguagem selecionada também deve ser considerada na escolha por uma ou outra linguagem, além da sua adequação aos propósitos de representação da ontologia. Entre as linguagens analisadas (Figura 5-5) estão:

- Ontology eXchange Language (XOL) (Karp et al., 1999).
- Simple HTML Ontology Extensions (SHOE) (Luke e Heflin, 2000).
- Ontology Markup Language (OML) (Kent, 1999).
- Ontology Inference Layer (OIL) (Fensel et al., 2000).
- DARPA Agent Markup Language + OIL (DAML+OIL) (Harmelen et al., 2004).

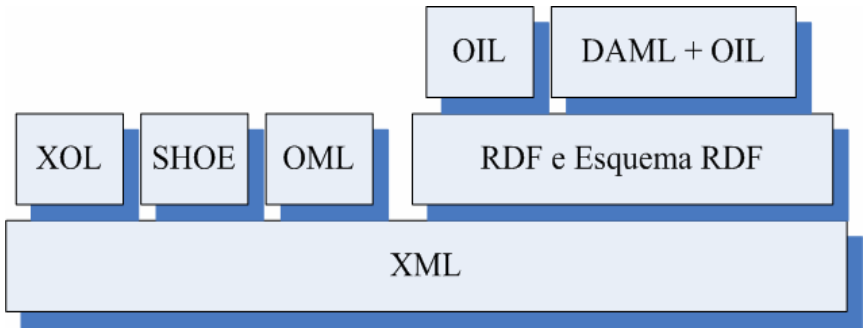


Figura 5-5 Pilha de linguagens na Web Semântica (adaptado de Gómez-Pérez e Corcho, 2002).

Seguindo as recomendações e análises de Gómez-Pérez e Corcho (2002) e de Antoniou e Harmelen (2004) foram analisados na escolha da linguagem de modelagem de ontologias: a expressividade da linguagem, a existência de um editor para a linguagem, a aceitação no ambiente acadêmico, grupo de suporte, APIs de integração, máquina de inferência, entre outras. As justificativas são detalhadas a seguir.

5.5.2 OWL – Web Ontology Language

OWL é uma linguagem de marcação semântica para publicação e compartilhamento de recursos na Web Semântica. Foi desenvolvida pela W3C como um vocabulário estendido de RDF e é derivada da linguagem DAML+OIL5. Como mostra a Figura 5-6, OWL está logo acima da linguagem DAML+OIL.

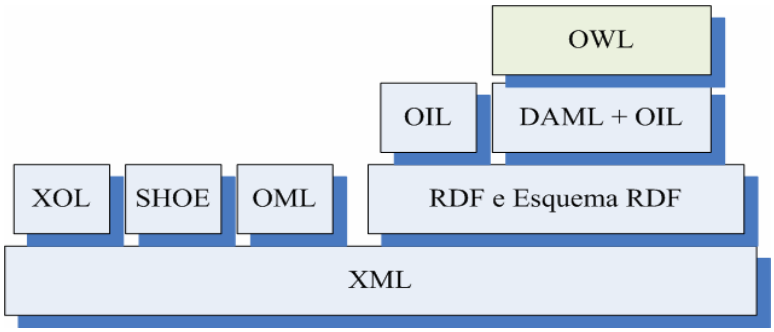


Figura 5-6 Linguagem OWL na pilha de linguagens na Web Semântica

O principal objetivo do desenvolvimento da OWL é prover uma linguagem que possa ser utilizada em aplicações que precisam entender o significado das informações e não somente entender como essas informação são apresentadas. A OWL permite uma representação explícita de um vocabulário de conceitos e relacionamentos de um domínio de conhecimento. Dessa maneira, OWL estende o vocabulário de XML, RDF e Esquema RDF, adicionando um vocabulário mais rico para descrever classes, relacionamentos entre classes (por exemplo, disjunção), igualdade ou desigualdade de classes, restrições de cardinalidade e características das propriedades (por exemplo, transitiva, funcional, inversa). A linguagem OWL segue uma estrutura modular, dividindo-se em três sublinguagens (ou espécies) de acordo com sua capacidade de expressão (Lacy, 2005; Bechhofer et al., 2004; Horridge et al., 2004; McGuinness e Harmelen, 2004).

OWL Lite é a sublinguagem mais simples. Permite uma definição simples de hierarquia de classes e poucas restrições de propriedades. Por exemplo, OWL Lite não permite definir disjunções ou uniões entre classes, e permite apenas cardinalidade 0 ou 1 para as propriedades.

OWL DL (*Description Logics*) permite o uso de todos os construtores da OWL, mas com algumas restrições para garantir completude (computabilidade) e decidibilidade (tempo finito) da ontologia. O balanceamento entre expressividade e decidibilidade é garantido pela lógica de descrição (DL), que é um subconjunto da Lógica de Primeira Ordem (*First-Order Logic*). A expressividade da lógica de descrição varia de acordo com os construtores OWL utilizados. A notação para representar essa expressividade é apresentada a seguir e indica, por exemplo, que uma ontologia com expressividade ALH(D) inclui construtores de atributos lógicos (AL), hierarquia de classes (H) e tipos de dados (D). Como máquinas de inferência apóiam diferentes níveis de expressividade da lógica de descrição, o critério de expressividade deve também ser considerado na escolha de uma ou outra máquina de inferência. A expressividade da OWL DL é uma variante da lógica de descrição SHOIN(D), onde (Martimiano, 2006):

- AL (*Attribute Logic*): Conjunção, restrições e quantificadores existenciais limitados.
- C (*Complement*): construtores AL, propriedade de disjunção, e nenhuma restrição quanto aos quantificadores existenciais.
- R+: Propriedade de transitividade.
- S: Atalho para ALCR+
- H: Propriedade de hierarquia.
- I: Propriedade Inversa.
- F: Propriedade Funcional ou cardinalidade restrita a 1 (um).
- O: Lista de indivíduos (instâncias) ou valores.
- N: Número maior de restrições.
- D: Tipos de dados.

A OWL DL permite definir relacionamentos entre instâncias de classes, bem como permite relacionar instâncias de classes a literais RDF ou a tipos de dados do Esquema RDF. Com OWL DL, por exemplo, classes podem ser construídas por união, intersecção e complemento, ou pela enumeração de instâncias, além de permitir disjunção. No entanto, enquanto uma classe pode ser subclasse de diversas classes

(herança múltipla), uma classe não pode ser instância de uma outra classe. Para o desenvolvimento das ontologias deste trabalho, a OWL DL foi utilizada.

OWL Full permite o uso completo dos construtores da OWL e da sintaxe do RDF, sem restrições. Enquanto OWL DL e OWL Lite restringem sua sintaxe de classes às classes definidas pelo Esquema RDF e pequenas extensões, por exemplo, `owl:equivalentClass`, OWL Full permite a criação e manipulação de metaclasses via enumerações, restrições de propriedades e combinações *booleanas*. No entanto, não há garantia de computabilidade para ontologias desenvolvidas com o uso da OWL Full.

As linguagens menos expressivas (Lite) estão contidas dentro das mais expressivas (DL e Full), de maneira que uma ontologia definida em uma linguagem menos expressiva é aceita por uma linguagem mais expressiva. No entanto, a recíproca não é verdadeira.

A Sintaxe da OWL

Para definir uma ontologia em OWL, é necessário indicar que vocabulários específicos são utilizados por meio de um conjunto de espaços de nomes XML declarado no início da definição da ontologia (Lacy, 2005). O exemplo a seguir ilustra o trecho inicial de uma ontologia de tecnologias de rede sem fio.

```
1 <rdf:RDF
2 xmlns ="http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/OWL/rede#"
3 xmlns:rede ="http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/OWL/rede#"
4 xmlns:acesso="http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/OWL/acesso#"
5 xmlns:owl ="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
6 xmlns:rdf ="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
7 xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
8 xmlns:xsd ="http://www.w3.org/2000/10/XMLSchema#">
```

As duas primeiras declarações identificam o espaço de nomes XML associado à ontologia corrente (linhas 2 e 3). A primeira declara que quaisquer nomes sem referência a espaços de nomes XML pertencem à ontologia corrente (linha 2). A segunda declaração associa o espaço de nomes XML da ontologia com o prefixo `rede` para referenciar definições de seu vocabulário (linha 3). A declaração na linha 4 associa o espaço de nomes XML da ontologia de provedores (`acesso`) com o prefixo `acesso`. As demais declarações de espaços de nomes XML indicam que elementos com os prefixos owl, rdf, rdfs e xsd devem ser entendidos como definições pertencentes aos vocabulários das linguagens OWL, RDF, esquema RDF e esquema XML, respectivamente (linhas 5, 6, 7 e 8). A maioria dos elementos em uma ontologia OWL trata de classes, propriedades, instâncias de classes e relacionamentos entre instâncias.

Os conceitos mais básicos de um domínio de conhecimento devem ser mapeados em classes como raízes de árvores taxonômicas. Tudo que for declarado em OWL é membro da classe owl:Thing. Assim, cada classe de uma ontologia é subclasse de owl:Thing. Os construtores clássicos para definição e hierarquização de classes são owl:Class e rdfs:subClassOf, respectivamente. Portanto, se X é subclasse de Y, cada instância de X é instância de Y. O exemplo a seguir declara que a classe “Rede” (linha 1) é subclasse da classe “Meios de Comunicação” (linha 2).

```
1 <owl:Class rdf:ID="Rede">
2  <rdfs:subClassOf  rdf:resource="&Meio_de_Comunicacao;Servico"
/>
3 ...
4 </owl:Class>
```

A definição de Rede até esse momento indica que meio de comunicação é “serviço”, portanto sem informação suficiente para criar e interpretar indivíduos dessa classe. Para descrever membros de uma classe, utiliza-se o nome da classe à qual pertence seguido do construtor rdf:ID para identificá-lo, como no exemplo a seguir: Wi-Fi para o rede Sem-Fio (linha 4) pertencem à classe “Wi-Fi” (linha 1) que, por sua vez, é da classe de 802.11 (linha 2) declarada no espaço de nomes XML de redes.

```
1 <owl:Class rdf:ID="Wi_Fi">
2 <rdfs:subClassOf rdf:resource="&rede;802_11" />
3 </owl:Class>
4 <Wi_Fi rdf:ID="Sem_Fio" />
```

O exemplo de ontologia com classes de redes e suas instâncias pode ser enriquecido com a associação de propriedades a classes. Propriedades permitem declarar fatos genéricos sobre membros de classes, bem como fatos específicos sobre instâncias. O exemplo a seguir declara que redes (linha 2) possuem uma propriedade que indica que estes possuem tecnologia (linha 1). Essa propriedade assume valores que pertencem à classe de tecnologias de redes (linha 3). O construtor owl:ObjectProperty relaciona instâncias de duas classes, nesse caso, instâncias de redes e tecnologias de redes.

```
1 <owl:ObjectProperty rdf:ID="possuiTecnologia">
2 <rdfs:domain rdf:resource="#Rede"/>
3 <rdfs:range rdf:resource="#TecnologiaRede"/>
4 </owl:ObjectProperty>
```

Para enriquecer o exemplo anterior, restrições sobre a cardinalidade de propriedades podem ser feitas. O próximo exemplo declara que redes (linha 1) possuem tecnologia (linha 5) a partir de, no mínimo, um tipo de tecnologia (linha 6). Deve-se ressaltar a utilização de tipos de dados segundo esquemas XML (linha 6) na restrição da propriedade em questão.

```
1 <owl:Class rdf:ID="Rede">
2 rdfs:subClassOf rdf:resource="&rede;802_11" />
3 <rdfs:subClassOf>
4 <owl:Restriction>
5 <owl:onProperty rdf:resource="#possuiTecnologia"/>
6<owl:minCardinality
rdf:datatype="&xsd;nonNegativeInteger">1</owl:minCardinality>
7 </owl:Restriction>
8 </rdfs:subClassOf>
9 </owl:Class>
```

A linguagem OWL fornece construtores para a definição de propriedades transitivas, simétricas, inversas, funcionais e funcionais inversas.

5.6 Ambientes para Modelar e Avaliar Ontologias

Desenvolver uma ontologia, como mencionado anteriormente, não é uma tarefa fácil, pois envolve diversos passos e gera vários documentos. Para facilitar esse desenvolvimento, diversos ambientes são encontrados na literatura para auxiliar no processo de desenvolvimento de ontologias. Os ambientes de desenvolvimento visam apoiar todos os passos realizados pelo desenvolvedor, desde a modelagem até a avaliação da ontologia. Dentre os ambientes utilizados para modelar ontologias, têm-se: Protégé[53], Onto-Saurus[54], CommonKADS[55], WebOnto[56], OntoEdit[57], Ontolingua-Server[58] e WebODE[59] (Martimiano, 2006).

---

[53] http://protege.stanford.edu/

[54] http://www.isi.edu/isd/ontosaurus.html

Todos esses ambientes dão suporte a diversas linguagens para modelagem de ontologias, como XML, DAML+OIL, OIL, OWL, RDF-Schema e Ontolingua. Além desse suporte às linguagens de representação, muitas dessas ferramentas também permitem que diferentes máquinas de inferência possam ser integradas e utilizadas para avaliar a ontologia, como Pellet (Sirin et al., 2007), RacerPro[60], FaCT++[61], e diferentes linguagens de consultas para ontologias, como RDQL (*RDF Data Query Language*) (Seaborne, 2004) e SPARQL (*SPARQL Query Language for RDF*)(Prud'hommeaux e Seaborne, 2008). Essas linguagens permitem que o desenvolvedor faça perguntas para a ontologia, auxiliando-o no processo de avaliação. Essas perguntas são as "questões de competências" que podem ser definidas durante o processo de desenvolvimento da ontologia.

A seguir, nesta seção, a ferramenta Protégé, a máquina de inferência Pellet, e a linguagem de consulta SPARQL são descritas com mais detalhes, pois foram utilizadas durante o desenvolvimento e avaliação das ontologias desenvolvidas.

5.6.1 A Ferramenta Protégé

A ferramenta Protégé tem sido desenvolvida pela Universidade de Stanford (*Stanford Medical Informatics*) desde 1997 com o principal objetivo de auxiliar desenvolvedores e especialistas na modelagem de aplicações baseadas em conhecimento utilizando ontologias (Gennari et al., 2003). Uma grande comunidade de desenvolvedores, sejam eles da área acadêmica ou da indústria ou de governos, utilizam a Protégé para modelar ontologias nas mais diversas áreas do conhecimento.

---

[55] http://hcs.science.uva.nl/projects/kads22/

[56] http://kmi.open.ac.uk/projects/webonto/

[57] http://www.ontoknowledge.org/tools/ontoedit.shtml

[58] http://www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua/

[59] http://webode.dia.fi.upm.es/WebODEWeb/index.html

[60] www.sts.tu-harburg.de/~r.f.moeller/racer/

[61] http://owl.man.ac.uk/factplusplus/

Como núcleo de sua implementação, a ferramenta possui um conjunto de estruturas que apóiam a criação, visualização e manipulação de ontologias em diferentes formatos.

A ferramenta Protégé é desenvolvida em linguagem Java com código aberto, e provê um ambiente *plug-and-play* que a torna flexível para o desenvolvimento de aplicações, possibilitando que *plugins* e APIs (*Application Programming Interface*) Java possam ser incorporadas. Esses *plugins* e APIs podem ser utilizados para modificar ou estender o comportamento da ferramenta. As APIs podem ainda ser diretamente utilizadas por aplicações externas para acessar bases de conhecimento sem a Protégé.

A Protégé também possibilita que código Java seja gerado a partir das classes e relacionamentos da ontologia, facilitando o desenvolvimento de aplicações com base na ontologia. Além disto, é possível utilizar de maneira integrada à Protégé diferentes máquinas de inferências, como Pellet e RacerPro – para avaliar uma ontologia –, diferentes linguagens, como RDQL e SPARQL, e diferentes ferramentas de visualização da hierarquia de classes e relacionamentos da ontologia, como Ontoviz[62] e OWLViz[63].

A ferramenta Protégé apóia dois tipos de modelagem de ontologias (Martimiano, 2006):

- Editor Protégé-Frames: Possibilita que usuários desenvolvam ontologias baseadas em frames de acordo com o protocolo OKBC (*Open Knowledge Base Connectivity*). Nesse modelo, a ontologia consiste de um conjunto de classes organizadas em uma hierarquia que representa os conceitos de um domínio, um conjunto de *slots* (ou atributos) associados a uma classe para descrever suas propriedades, e um conjunto de instâncias dessas classes.
- Editor Protégé-OWL: Possibilita que usuários desenvolvam ontologias para a Web Semântica utilizando a linguagem OWL. Nesse caso, todas as propriedades e construtores da OWL podem ser utilizados durante a modelagem. Outras linguagens, como RDF e XML, também podem ser

[62] http://protegewiki.stanford.edu/index.php/OntoViz

[63] http://www.co-ode.org/downloads/owlviz/

utilizadas. Esse editor gera o código OWL da ontologia automaticamente à medida que a ontologia está sendo modelada. O editor Protégé-OWL foi utilizado no desenvolvimento das ontologias deste trabalho.

A Figura 5-7 apresenta a captura da tela da Protégé-OWL com as classes, atributos e suas restrições, e os relacionamentos da ontologia Haggle que aparece na aba OWL Entities.

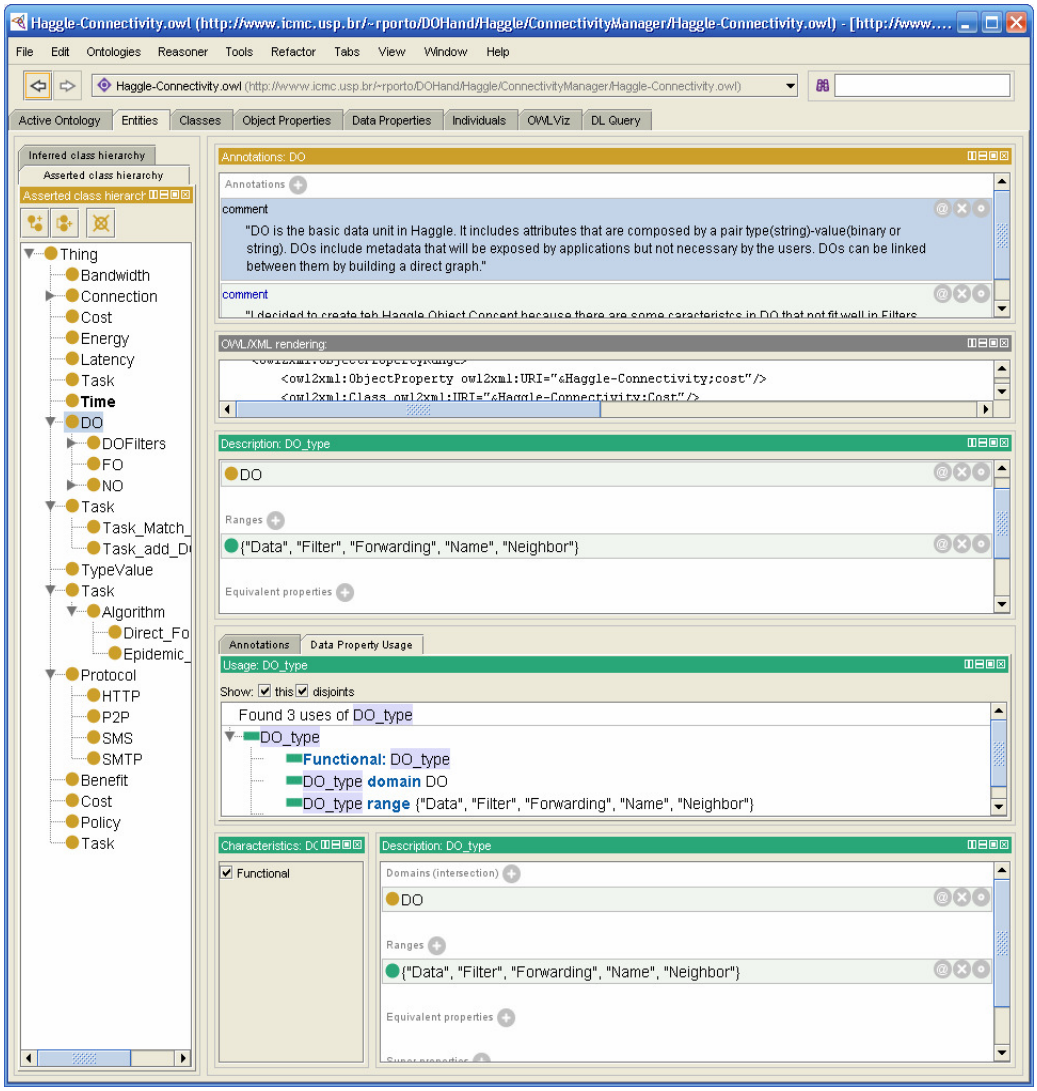


Figura 5-7 – Tela da ferramenta Protégé na edição da Ontologia Haggle

A ferramenta Protégé mostra do lado esquerdo a hierarquia de classes da ontologia, denominada Asserted Class Hierarchy. A classe owl:Thing é criada por padrão

(default) como raiz da hierarquia e todas as outras classes são criadas abaixo dela. Do lado direito, partindo de cima para baixo, são mostrados: (a) Anotações sobre a classe DO, onde existem vários tipos de anotações, desde as utilizadas para documentação até os nomes da classe em diferentes línguas; (b) OWL/XML *rendering* é o código gerado pela ferramenta de edição durante o processo de desenvolvimento da ontologia na interface gráfica; (c) Descrição de atributo, no caso é mostrado o atributo "DO_Type" que tem como domínio a classe DO e como imagem os tipos de DO {Data, Filter, Forwarding, Name, Neighbor}; (d) Utilização de um atributo, para DO_Type foram encontrados o tipo de relação funcional, o domínio e a imagem; (e) Detalhamento de um atributo. Em outras abas da ferramenta são apresentadas as seguintes informações:

- Properties: Permite a criação das propriedades da ontologia.
- Forms: Mostra as propriedades criadas para as classes da ontologia.
- Individuals: Permite criar instâncias para as classes da ontologia.
- Metadata: Mostra todos os espaços de nomes da ontologia e permite importar outras ontologias.
- OWLViz : Essa aba mostra um plugin que permite visualizar graficamente a hierarquia de classes.

Existem muitas facilidades na Protégé que não são descritos, porém podem ser consultados na documentação Protégé 4 (2009).

5.6.2 A Máquina de Inferência Pellet

As máquinas de inferência normalmente oferecem diferentes serviços de consultas que podem ser utilizados para questionar uma ontologia. Esses serviços podem questionar classes, relacionamentos, atributos ou instâncias, realizando conclusões a respeito do domínio. Por exemplo, dada uma classe C, (i) determinar se um indivíduo I é instância de C, (ii) determinar todos os indivíduos de C, (iii) determinar se uma classe D é subclasse de C, ou (iv) se uma classe E é subclasse de D e D é subclasse de C, então E também é subclasse de C (transitividade) (Tempich e Volz, 2003).

Pellet é uma máquina com código aberto escrita em Java utilizada para avaliar ontologias desenvolvidas utilizando a linguagem OWL DL. Como OWL DL está baseada na lógica de descrição, Pellet utiliza os jargões da lógica de descrição para

analisar a expressividade e as características de uma ontologia (Sirin et al., 2006; Vieira et al., 2005), que são:

- ABox (*Assertional Box*): Representa as assertivas sobre os indivíduos da ontologia, tais como tipo e valor. ABox contém o conhecimento que especifica os indivíduos do domínio, sendo, assim, a instanciação da estrutura de conceitos. Existem dois tipos de declarações:
    - Declaração de Conceitos: C(a). Declara que "a" é um indivíduo do conceito C. Por exemplo, Tecnologia(Wi-Fi).
    - Declaração de Papel: R(a,b). Declara que o indivíduo "a" está relacionado com o indivíduo "b" por meio da propriedade "R". Por exemplo, tem_tecnologia(ProvedorICMC,Wi-Fi).
- TBox (*Terminological Box*): Representa os axiomas sobre as classes (conceitos) da ontologia, tais como subclasses, disjunção, equivalência e transitividade. TBox representa as características gerais dos conceitos de um domínio, que são grupos de indivíduos semelhantes.
- KB (*Knowledge Base*): Representa a base de conhecimento (ou a ontologia completa), que é a combinação entre ABox e TBox.

A partir de uma máquina de inferência como a Pellet, é possível avaliar se uma ontologia está de acordo com serviços de inferência definidos pela lógica de descrição, tais como:

- Consistência: Visa garantir que a ontologia não contém fatos contraditórios, avaliando a consistência de uma ABox com relação a um TBox.
- Classificação: Visa determinar a hierarquia de conceitos (classes) da ontologia.
- Realização (*Realization*): Visa encontrar na base de conhecimento as instâncias de um indivíduo.

Pellet é uma máquina de inferência que possui uma implementação completa para a linguagem OWL/DL, incluindo análise das instâncias da ontologia, dos tipos de dados e das restrições.

5.6.3 A Linguagem SPARQL

RDF tem sido largamente utilizado para representar recursos na Web. Além de permitir a representação de recursos, o padrão RDF também possibilita a integração entre diferentes fontes de dados (Martimiano, 2006). Uma vez que esses recursos estão armazenados de forma padrão, desenvolvedores e usuários podem adquirir informação e conhecimento a respeito dos recursos armazenados utilizando linguagens de consulta específicas para recursos em RDF. Dentre essas linguagens, tem-se a SPARQL[64], uma linguagem muito utilizada para consultas em aplicações da Web Semântica e padronizada pelo W3C.

Com a linguagem SPARQL é possível realizar consultas de dados em RDF armazenados tanto em arquivos ".rdf" quanto em bancos de dados. A linguagem tem a sintaxe básica semelhante à linguagem SQL (*Structured Query Language*), ou seja, utiliza a estrutura SELECT X FROM Y WHERE Z. As consultas são realizadas a partir do grafo RDF, que é composto pela tripla sujeito (recurso), predicado (propriedade) e objeto (recurso ou literal). SPARQL também possui comandos como ORDER BY, UNION, DISTINCT, além de agrupamentos, restrição de valores e extração de informação a partir de mais de uma base RDF.

SPARQL provê as seguintes facilidades: (i) extrair informação na forma de URIs, *blank nodes* que são aqueles nós de um grafo RDF que não possuem URI, e *plain* e *typed literals*, que são, respectivamente, aqueles que não estão associados ao tipo de dados que armazenam e aqueles que são associados ao tipo de dados que armazenam; (ii) extrair subgrafos RDF; e (iii) construir novos grafos RDF a partir das consultas realizadas.

O exemplo abaixo mostra uma consulta SPARQL simples para encontrar o título de um livro. A cláusula SELECT identifica a variável que irá aparecer no resultado da consulta, e a cláusula WHERE apresenta a tripla RDF que deverá ser satisfeita.

```
1 SELECT ?title
2  WHERE {<http://example.org/book/book1> <http://purl.org/dc/elements/1.1/title> ?title .}
```

[64] http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/

Para a consulta, a instância está representada como mostra o exemplo a seguir. Assim,o resultado é uma tabela com o title “SPARQL Tutorial”.

```
1 <http://example.org/book/book1> <http://purl.org/dc/elements/1.1/title> "SPARQL Tutorial" .
```

A mesma consulta pode ser escrita de outra forma. Como mostra a linha 1, antes das cláusulas SELECT e WHERE, é possível colocar um “prefixo” que identifica o espaço de nomes utilizado. No caso, o espaço de nomes é do Dublin Core (DC)[65].

```
1 PREFIX dc: <http://purl.org/dc/elements/1.1/>
2 SELECT ?title
3 WHERE { <http://example.org/book/book1> dc:title ?title }
```

Para utilizar as ontologias, uma aplicação de consultas de “reputação” em RDF foi desenvolvida. Essa aplicação armazena as informações sobre usuários Haggle em um banco de dados MySQL e utiliza a linguagem SPARQL para realizar as consultas. Para armazenar os dados no banco de dados, o framework Jena[66] foi utilizado.

O Jena é um framework Java largamente utilizado para desenvolvimento de aplicações da Web Semântica, e provê suporte para os padrões RDF e RDFS, e para as linguagens OWL e SPARQL. Os conceitos mapeados em OWL são mapeados em código Java através do gerador de código Jastor[67]. Jastor é um gerador de código Java automático que possibilita a conversão de documentos OWL em código Java, permitindo o acesso a dados no formato RDF armazenados no framework Jena.

5.7 Ontologias e trabalhos relacionados

Esta seção descreve o uso de ontologias em trabalhos relacionados à solução apresentada nesta tese.

---

[65] O Dublin Core é uma iniciativa de desenvolver interoperabilidade de padrões de metadados e desenvolver vocabulários de metadados para descrever recursos, facilitando a descoberta de conhecimento. Página Web: http://dublincore.org

[66] http://jena.sourceforge.net/

[67] http://jastor.sourceforge.net/

5.7.1 Ontologia SUMO

A ontologia SUMO (*Suggested Upper Merged Ontology*)[68] e seu domínio de ontologias formam a maior ontologia formal pública disponível. O grupo de trabalho 1600.1 do IEEE[69] tem trabalhado em sua padronização como ontologia de nível superior.

A ontologia SUMO trata de meta-conceitos, conceitos gerais que não pertencem a um domínio particular de problemas, que são estruturados na forma de taxonomias, relacionamentos e axiomas (Bulcão Neto, 2006). Atualmente, a ontologia conta com 20.000 classes e 70.000 axiomas que têm sido utilizados como base para a construção de ontologias para vários domínios, tais como Comunicações, Transportes e Forças Armadas. O domínio da ontologia que foi explorado neste trabalho foi o de Comunicações[70], onde há informações sobre relacionamentos e definição dos conceitos:

- Principais linhas de comunicação em uso;
- Sistemas telefônicos fixos;
- Sistemas de telefonia móvel;
- Estações de radiodifusão;
- Aparelhos de rádio;
- Estações de teledifusão;
- Aparelhos televisores;
- Código dos países na Internet.
- Provedores de Serviço de Internet (ISP);
- Usuários da Internet

Nas ontologias deste trabalho, as classes relacionadas aos dispositivos dos usuários, aos provedores de acesso, aos pontos de acesso e aos serviços de comunicação foram desenvolvidas considerando alguns aspectos da SUMO.

---

[68] http://www.ontologyportal.org/

[69] http://suo.ieee.org/

[70] http://sigmakee.cvs.sourceforge.net/*checkout*/sigmakee/KBs/Communications.kif

5.7.2 Ontologia FOAF

A ontologia FOAF (*Friend of a Friend*)[71] vem sendo desenvolvida desde o ano 2000. Essa ontologia tem por objetivo auxiliar em tarefas relacionadas a comunidades de pessoas, como:

- Confiabilidade como parâmetro de prioridade, por ex: filtro de e-mail;
- Ajuda na seleção de novos membros de comunidades;
- Localização de pessoas com interesses similares.

As classe e relações podem ser utilizados para descrever conteúdo de páginas de pessoas, grupos e organizações, bem como para descrever informações de redes de relacionamentos on-line (Bulcão Neto, 2006).

Para facilitar seu processamento e disseminação, documentos FOAF são escritos nas linguagens OWL e RDF, podendo ser combinado com outros documentos de mesma natureza para criar uma base de dados de informação unificada.

Nas ontologias deste trabalho, a classe do usuário utiliza conceitos da ontologia FOAF através do reúso da ontologia sobre usuários de Bulcão Neto (2006).

5.7.3 SOUPA – *Standard Ontology for Ubiquitous and Pervasive Applications*

A ontologia SOUPA (Chen et al., 2003 e 2004) foi desenvolvida para modelar e dar suporte a aplicações de computação ubíqua. A ontologia foi desenvolvida em OWL *Language* e inclui componentes modulares de vocabulários para representar agentes de software associados com seus conhecimentos e intenções, tempo, espaço, eventos, perfis de usuários, ações, e políticas para segurança e privacidade. O núcleo da ontologia pode ser estendido e utilizado no desenvolvimento de novas ontologias para o gerenciamento de ambientes ubíquos.

Parte do vocabulário da SOUPA é adotado de uma variedade de ontologias de consenso. As ontologias referenciadas incluem a ontologia *Friend-Of-A-Friend* (FOAF), ontologia DAML Time[72], ontologias de localização do OpenCyc[73], *Regional*

---

[71] http://xmlns.com/foaf/spec/

[72] http://www.cs.rochester.edu/~ferguson/daml/

Connection Calculus (RCC) (Randell et al., 1992), COBRA-ONT[74], Ontologia MoGATU BDI[75], Ontologia Política Rei[76]. Uma descrição das principais funções de cada ontologia é feita a seguir:

FOAF. Essa ontologia permite a descrição de informações pessoais e seus relacionamentos, sendo muito útil no desenvolvimento de sistemas que dão suporte a comunidades *on-line* (Chen et al., 2004). Aplicações para computação ubíqua podem utilizar a ontologia FOAF para expressar e tratar informações do perfil de contato de pessoas para inferir sobre suas relações sociais com outras pessoas, com base na sua proximidade/vizinhança.

DAML Time. Os vocabulários dessa ontologia foram criados para expressar conceitos sobre tempo e propriedades comum para qualquer formalização de data/hora. Aplicações para computação ubíqua podem utilizar essa ontologia para compartilhar representação comum sobre data/hora e manipular a ordem de acontecimento de eventos distintos.

OpenCyc. As ontologias para localização OpenCyc definem conjuntos de vocabulários compreensíveis para representação simbólica de espaço, definindo relações espaciais para análise qualitativa. Em aplicações para computação ubíqua, essas ontologias podem ser exploradas na descrição e análise de localização e contexto de localização (Chen et al., 2004).

COBRA-ONT & MoGATU BDI. Essas duas ontologias buscam dar suporte à representação do conhecimento e análise ontológica em ambientes ubíquos. O projeto da COBRA-ONT foca em modelar contexto em ambientes/salas inteligentes, e o projeto da MoGATU BDI foca em modelar convicções, desejos e intenções (*belief, desire* e *intention*) de usuários e agentes de software.

Política Rei. A linguagem de políticas Rei define um conjunto de conceitos *deontic*[77] (direitos, proibições, obrigações e permissões) para especificações e análise de

---

[73] http://www.cyc.com/doc/handbook/oe/oe-handbook-toc-opencyc.html

[74] http://cobra.umbc.edu/ontologies.html

[75] http://mogatu.umbc.edu/bdi/

[76] http://www.csee.umbc.edu/~lkagal1/rei/

regras para segurança em controle de acesso. Em ambientes ubíquos, os usuários podem utilizar essa ontologia de políticas para especificar regras de alto nível que aceitem e neguem direitos de acesso para serviços e de serviços distintos.

A ontologia SOUPA consiste de dois conjuntos distintos: Núcleo e Extensão - Figura 5-8. O conjunto de ontologias do Núcleo define vocabulários comuns que são universais para diferentes aplicações em computação ubíqua. O conjunto de ontologias da Extensão, estende conceitos do núcleo, definindo vocabulários adicionais para dar suporte a tipos específicos de aplicações e fornecem exemplos para futuras extensões de ontologias.

O Núcleo SOUPA consiste de vocabulários que expressam conceitos relacionados com pessoa (*person*), agente (*agent*), *belief-desire-intention* (BDI), ação (*action*), política (*policy*), data (*time*), localização (*space*) e evento (*event*). Essa parte é agrupada em nove documentos de ontologia distintos. A Figura 5-8 mostra um diagrama com os documentos das ontologias e seus relacionamentos.

Pessoa (*Person*)**.** Essa ontologia descreve define o vocabulário comum para descrever informação de contato e perfil de uma pessoa. A classe OWL per:Person é definida para representar o conjunto de todas as pessoas no domínio da ontologia SOUPA, e é equivalente à classe foaf: Person da Ontologia FOAF.

Política e Ação (*Policy, Action*)**.** Segurança e privacidade são duas áreas de preocupação muito exploradas em computação ubíqua. Política é uma técnica para controlar e ajustar o comportamento de baixo nível dos sistemas através da definição de regras de alto nível. A ontologia de políticas SOUPA define vocabulários para representar políticas de segurança e privacidade e um mecanismo de descrição baseado em lógica para análise das políticas definidas. A definição dos vocabulários dessa ontologia são influenciados pela linguagem de políticas Rei. Uma política é um conjunto de regras especificadas pelo usuário ou uma entidade computacional para restringir ou guiar a execução de uma ação. Por exemplo, no contexto de segurança, um administrador pode usar políticas para definir quem tem o direito de executar qual serviço; no contexto de proteção de privacidade, um usuário pode utilizar políticas para

[77]***Deontic logic*** é um campo da lógica que estuda as obrigações , permissões e conceitos relacionados.

restringir o tipo de informações pessoais que podem ser compartilhadas com serviços públicos.

A representação da ontologia para uma ação é definida no documento `action`. A Classe `act:Action` representa o conjunto de todas as ações. Indivíduos dessa classe podem possuir um conjunto de valores de propriedades, incluindo (i) `act:actor` – a entidade que executa a ação, (ii) `act:recipient` – a entidade afetada após a ação ser executada, (iii) `act:target` – o objeto ao qual a ação é aplicada, (iv) `act:location` – a localização onde a ação é executada, (v) `act:time` – a hora em que a ação é executada, (vi) `act:instrument` – o objeto utilizado pelo usuário para executar a ação.

Um processo comum da implementação de um sistema utilizando a ontologia de políticas e ações é o seguinte: (i) um usuário ou administrador do sistema define uma política, (ii) a política é transmitida para o executor de política adequado (por exemplo, um agente de proteção de privacidade ou um agente de segurança), (iii) antes do executor de política permitir outros agentes a executarem uma ação, ele cria uma representação explícita da ação utilizando a ontologia Ação, (iv) essa representação da ação é carregada em uma máquina de inferência ou juntamente com a ontologia associada, (v) o executor da política permitirá a execução da ação acaso a ação seja classificada como permitida, e irá proibir a execução caso contrário.

Agente e BDI. Na construção de sistemas ubíquos, pode ser interessante modelar entidades computacionais como agentes. Na ontologia SOUPA, agentes são definidos com forte noção de agenciamento , o qual é caracterizado por um conjunto de noções mentais como conhecimento, crença (*belief*), intenção e obrigação. Nessa ontologia, tanto entidades computacionais como pessoas podem ser modeladas como agentes.

Enquanto metas, planos, intenções e crenças de agentes distintos são explicitamente representadas nas ontologias, essa informação pode auxiliar o desenvolvimento independente de agentes para compartilhar o entendimento comum de seus estados "mentais", ajudando-os a colaborar e cooperar entre si. A representação explícita dos estados mentais de usuários podem auxiliar agentes computacionais a inferir sobre necessidades específicas em ambientes ubíquos.

Dois documentos de ontologia estão associados a essa ontologia: agente e BDI. A classe agt:Agent representa o conjunto de todos os agentes no domínio SOUPA e é

associado com 3 propriedades que podem ser caracterizadas em estados "mentais" dos agentes: `agt:believes`, `agt:desires`, e `agt:intends`.

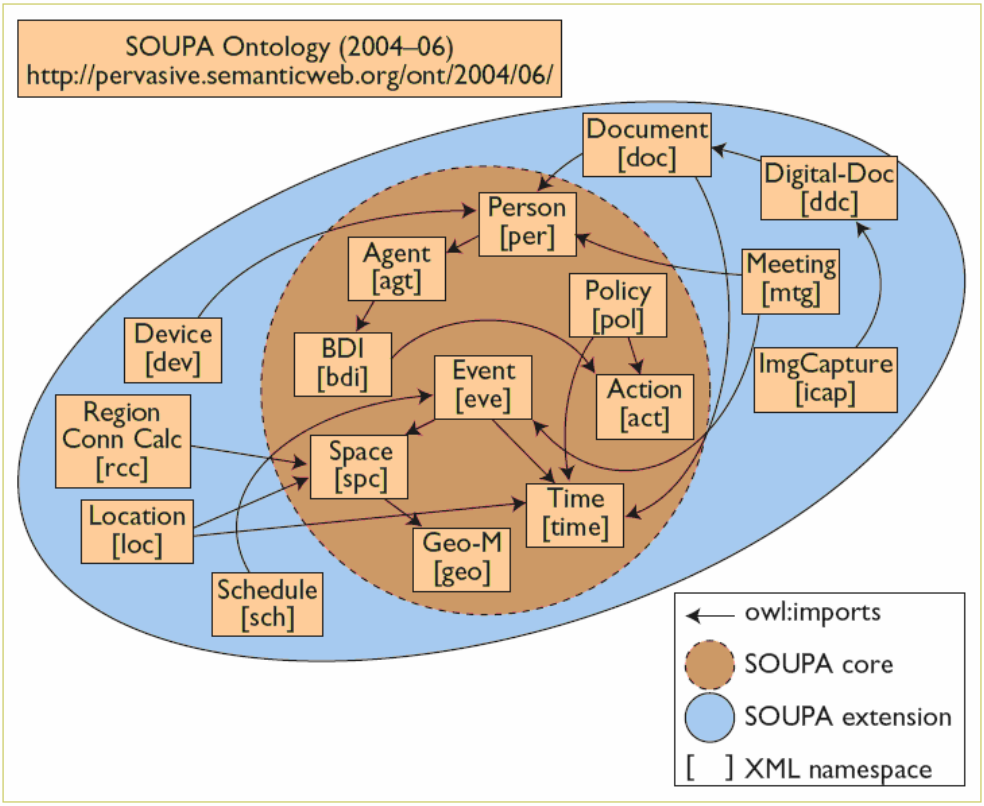


Figura 5-8 Núcleo e Extensão da Ontologia SOUPA (Chen et al., 2004)

Data. SOUPA define um conjunto de ontologias para expressar data e relações temporais. Essas ontologias podem ser utilizadas para descrever propriedades temporais de eventos distintos que ocorrem no ambiente físico. Parte dessa ontologia adota o vocabulário da ontologia DAML-Time.

Localização. Essa ontologia foi desenvolvida para auxiliar no processo de inferência sobre relações espaciais entre os diversos tipos de regiões geográficas, mapeamento de coordenadas geo-espacial para a representação simbólica do local e vice-versa, e a representação de medidas geográficas do local. Parte do vocabulário dessa ontologia foi adotado da ontologia OpenCyc. Dois documentos estão associados a essa ontologia: space e geo-measurement. O primeiro define uma representação

simbólica de localização e ralações espaciais, o segundo define vocabulários geo-espaciais comuns (por exemplo, longitude, latitude, altitude, distância e perímetro).

Evento. Eventos são atividades que possuem extensões de localização e data/hora. A ontologia evento pode ser utilizada para representar a ocorrência de atividades distintas, agendas e eventos dependentes. No documento evento, a classe eve:Event representa o conjunto de todos os eventos no domínio.

O núcleo da ontologia SOUPA pode ser importado em ontologias que tratam sistemas para computação ubíqua, reduzindo os esforços na criação de novas ontologias, permitindo maior foco no estudo e modelagem do domínio explorado.

No trabalho desta tese, as classes *Person, Location* e *Device* foram importadas para o conjunto de ontologias DOHand.

5.7.4 *Semantic Context Model* - SeCoM

O Modelo de Contexto Semântico desenvolvido por Bulcão Neto (2005) possui uma ontologia para prover um modelo ontológico independente de domínio que represente contexto através de um conjunto de classes, propriedades, relacionamentos e restrições que podem ser importadas por ontologias de domínios específicos. As informações de contexto modeladas na ontologia são: *who, where, when, what* e *how* - 4WH (Khai et al., 2001). No modelo de contexto da ontologia essas informações representam os conceitos básicos de atores, localização, tempo, atividades e dispositivos, respectivamente, assim como os relacionamentos entre os conceitos. As ontologias que descrevem o modelo de contexto baseado nos contextos 4WH serão descritas a seguir (Bulcão Neto e Pimentel, 2005):

Who. O núcleo desse conjunto de ontologias é a ontologia *Ator*. A ontologia *Ator* modela o perfil de todas as entidades que executam ações em um ambiente ubíquo, como pessoas, grupos e organizações. Outras ontologias desenvolvidas para completar o perfil dos "atores" são importadas, a saber: a ontologia *Papel* que descreve o papel social dos atores no mundo real (por ex., funcionário, estudante ou gerente); a ontologia *Contato* que representa diferentes informações de contato, incluindo contas on-line (e-mails, *chat id*), telefones (celular, trabalho) e endereços (comercial, residencial); a ontologia *Especialidade* que modela as áreas de conhecimento do ator; a ontologia *Relacionamento* que modela as relações sociais entre pessoas; a ontologia *Projeto* que descreve meta-informação associada a projetos e relações entre atores, como integrante

de um projeto; e por último a ontologia *Documento* que modela documentos de autoria dos atores, como páginas web.

Where. A ontologia baseada nesse contexto é a ontologia *Localização* que descreve as entidades físicas da localidade. Informações de localização não são baseadas somente em informações básicas como rua, cidade e sala, mas também em coordenadas geográficas como latitude, longitude e altitude que são combinadas com informações sobre direção, norte, sul, leste e oeste.

When. Para tratar informações com comportamento temporal de interações do usuário, assim como manter o histórico de mudanças, foi desenvolvida a ontologia *Tempo*. Informações temporais incluem datas (por ex. 19 de agosto de 2009, quarta-feira), duração de atividades (por ex., em conferência por 30 minutos) e ordenação de eventos (por ex., notificar após recebimento de e-mail específico).

How. A ontologia *Dispositivo* descreve dispositivos computacionais por meio de perfis, o qual inclui um conjunto de descrições que modelam funcionalidades dos dispositivos em termos de três plataformas: hardware, software e agente do usuário.

- A plataforma de hardware descreve o dispositivo quanto suas entradas, saídas e redes. As plataformas de entrada e saída modelam as capacidades de E/S do dispositivo, como: tipo de teclado e capacidade de cores do monitor.

- A plataforma de rede representa características das conexões de redes do dispositivo como suporte a conexões sem fio e velocidade de conexão.

- A plataforma do software representa o ambiente da aplicação, sistema operacional e softwares instalados. A plataforma do agente do usuário descreve as características do navegador (*browser*) instalado no dispositivo, como: nome e versão.

What. A ontologia *Atividade* descreve as ações que as pessoas excutam ou causam sua execução. Pela dificuldade de perceber e interpretar ações humanas, foi modelada a atividade com base em um conjunto de eventos relevantes que a caracterizam. Um evento é um fato que inclui descrições de tempo e localização, assim como os atores e dispositivos envolvidos.

No trabalho desta tese, o conjunto de ontologias DOHand utiliza conceitos da ontologia *Ator* e da ontologia *Dispositivo*.

5.7.5 Ontologias em Sistemas Autonômicos

Sistemas Autonômicos são sistemas com capacidade de autogerenciamento, tais como auto-iniciação, autoproteção, auto-otimização e autoconfiguração. Tecnologias para correlação de dados e inferência podem ser utilizadas como componentes de sistemas autônomos. Stojanovic et al. (2004) propuseram o uso de ontologias como uma abordagem de modelagem conceitual de alto-nível, e expressiva na descrição do conhecimento necessário para o processamento das regras utilizadas por uma máquina de correlação em sistemas autônomos. A utilização de modelos explícitos, sobre recursos de tecnologia da informação baseados em estados, na abordagem da tecnologia de correlação, permite a construção de sistemas computacionais autônomos capazes de lidar com objetivos de negócio, baseados em políticas, através de um alto nível de abstração.

A ontologia desenvolvida foi proposta como um *backbone* conceitual para máquina de correlações. O modelo da máquina de correlações (*Correlation Engine*) possui três camadas (Figura 5-9) – Camada de Recursos (*Resources*), Camada de Eventos (*Events*) e Camada de Regras (*Rules*).

Um recurso pode ser quase tudo, incluindo entidades físicas – por ex., uma parte específica do hardware (uma CPU) ou software (Banco de Dados) – e entidades virtuais – por ex., aplicações de negócio ou serviços de TI lógicos. O modelo do recurso representa o que está sendo gerenciado (*Monitor*). Um evento representa uma mudança no estado do recurso a ser analisado (*analyse*) – por exemplo, falha na CPU – e é gerado para notificar sobre mudanças ou falhas no recurso gerenciado. Uma resposta automática ao evento é gerada (*Plan*) pelas regras de correlação e executada (*Execute*) pelas regras de ação. As regras de correlação (*Correlation Rules*) tentam descobrir o problema, por exemplo, correlacionando vários eventos dependentes em um único evento mais significativo. As regras de ação (*Action Rules*) disparam ações para tentar resolver o problema, por exemplo, executando programas especiais.

O modelo descrito na Figura 5-9 para Máquina de Correlação foi transformado para um modelo de Ontologia de Correlação – Figura 5-10. O conhecimento ocultado no código (*hard-code*) da máquina de correlação foi transformado em um conjunto de regras na ontologia e são utilizados nas tarefas de inferências.

O uso de ontologias como um *backbone* conceitual para máquina de correlação em sistemas autônomos demonstrou primeiro que essa abordagem facilita a interoperabilidade entre máquina de correlação por causa do conhecimento comum compartilhado sobre problemas no domínio. Segundo, as ontologias formalizam o conhecimento compartilhado necessário para o processamento por máquinas. Por fim, a representação explícita da semântica dos dados possibilita que as máquinas de correlações forneçam um novo nível de serviços em sistemas autônomos.

A idéia desse modelo foi transportada para o gerenciamento de handovers no trabalho desta tese.

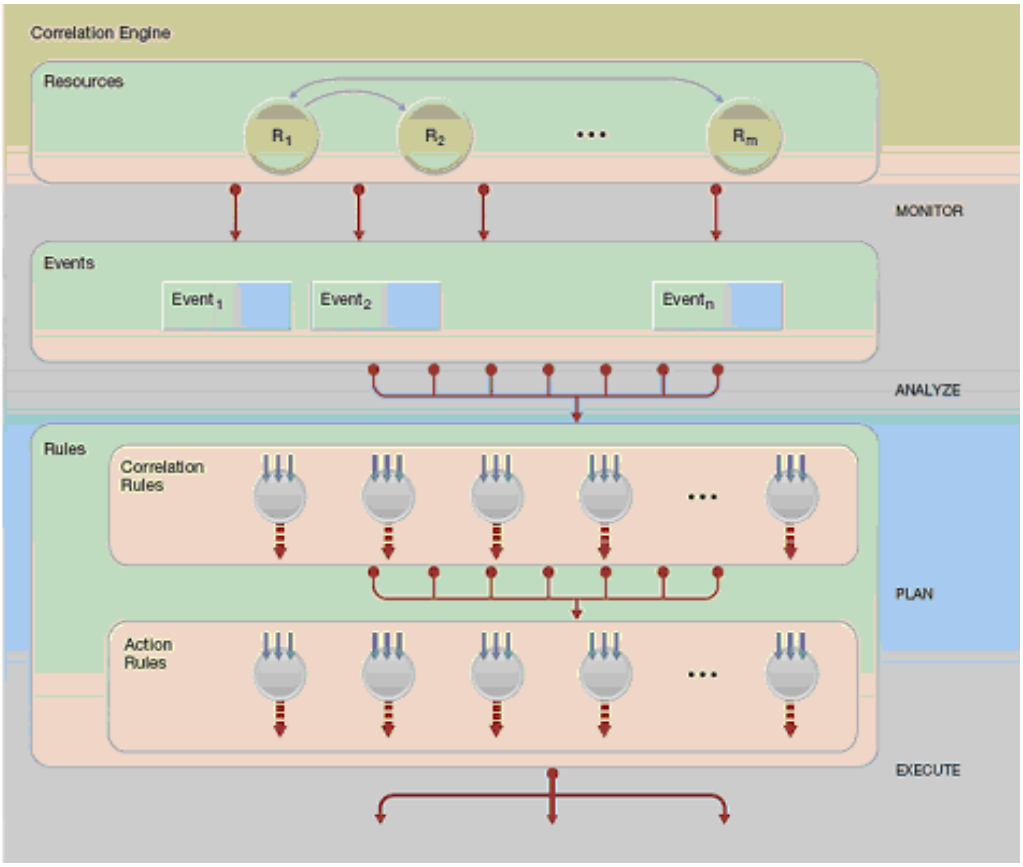


Figura 5-9 – Modelo da máquina de correlação (Stojanovic, 2004)

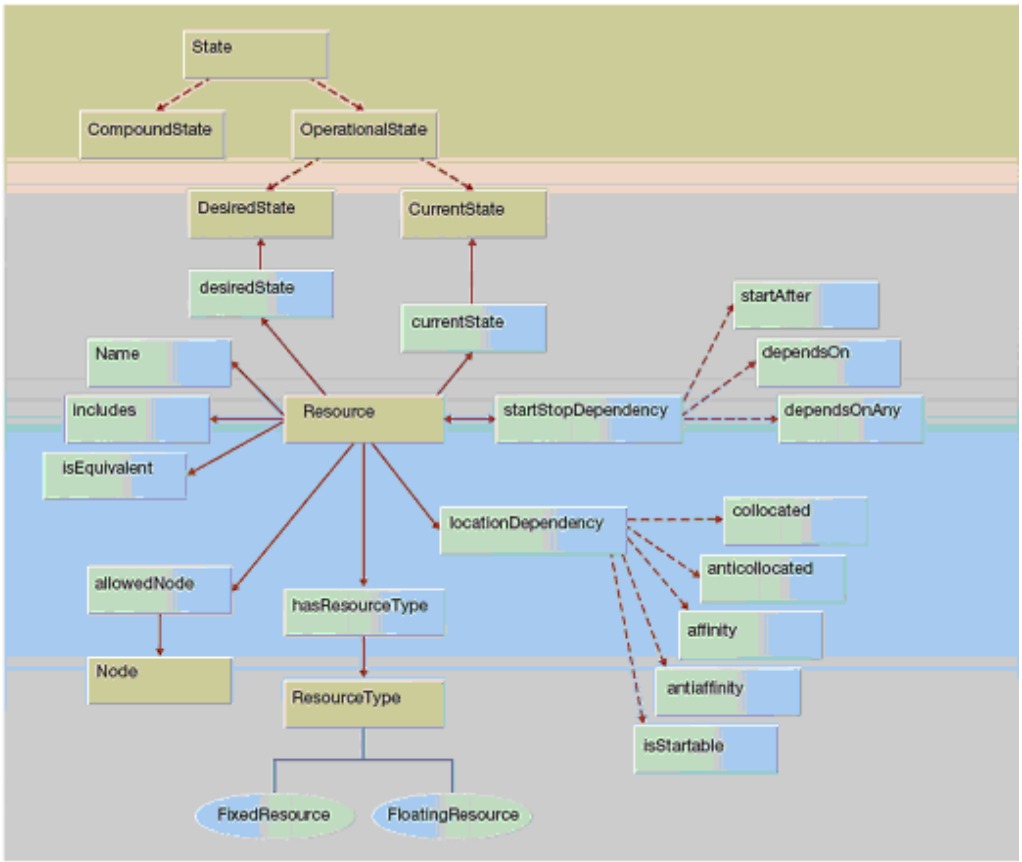


Figura 5-10 Parte da Ontologia desenvolvida (Stojanovic, 2004)

5.7.6 Mobilidade transparente em Sistemas de 4ª. Geração

O trabalho de Vidales (2005), denominado PROTON (Vidales et al., 2002), trata problemas de *delays* em *handovers* que afetam a experiência do usuário. Métodos e soluções práticas são apresentados e avaliados para minimizar quebras de conexão e suporte à mobilidade transparente nos sistemas de comunicação de próxima geração. Um ambiente de testes foi projetado e construído para simular a integração entre redes nos sistemas de 4ª. Geração, possibilitando o *roaming* entre tecnologias de redes sem fio distintas. Um dos testes na integração foi a avaliação do desempenho do protocolo *Mobile* IPv6 em ambientes heterogêneos, apontando pontos fracos no protocolo no gerenciamento de *roaming* entre tecnologias distintas. Foi sugerida e demonstrada uma alteração no protocolo que otimiza esse gerenciamento minimizando a latência durante *handovers* verticais. Porém, o autor afirma que minimizar a latência durante *handovers* não é suficiente para prover *roaming* transparente em ambientes integrados com diversidade de tecnologias. Por essa razão, uma solução baseada em políticas foi projeta

e desenvolvida para melhorar a experiência dos usuários móveis durante seus *handovers*.

A validação da solução foi feita no ambiente de testes projetado e os resultados mostraram que é possível oferecer suporte à mobilidade transparente nas próximas gerações de sistemas, apesar da complexidade e comportamento dinâmico dos ambientes heterogêneos.

O ambiente de teste construído dá suporte à conectividade com as redes de acesso mais relevantes: IEEE 802.3, IEEE 802.11a e UMT/GSM/GPRS. A infra-estrutura para GPRS possui estações base unidas a um servidor SGSN (*Serving GPRS Support Node*) conectado a um *gateway* GGSN (*Gateway GPRS Support node*). Na configuração com o provedor Vodafone[78], os nós SGSN e GGSN são combinados em um único nó CGSN (*Combined GPRS Support Node*). Uma rede virtual privada (VPN) conecta a rede do Laboratório da Universidade de Cambridge (*Cambridge Computer Lab*)[79] ao *backbone* do provedor Vodafone via um túnel IPSec sobre a Internet pública. Um servidor RADIUS separado foi disponibilizado para autenticação de dispositivos móveis de usuários na rede GPRS e para a associação de endereços IP.

Para acessar a rede integrada 4G, nós móveis, como laptops, conectam-se à rede local WLAN e simultaneamente à rede GPRS via um modem cartão/telefone. O ambiente de teste integra várias redes IP independentes, incluindo sub-redes IEEE 802.11b, rede da Vodafone GSM/GPRS e a WLAN do *Computer Lab* (Figura 5-11). Essa configuração foi projetada para análise de *handovers* intra-rede e inter-rede – denominados horizontal e vertical, respectivamente.

---

[78] www.vodafone.co.uk

[79] http://www.cl.cam.ac.uk/

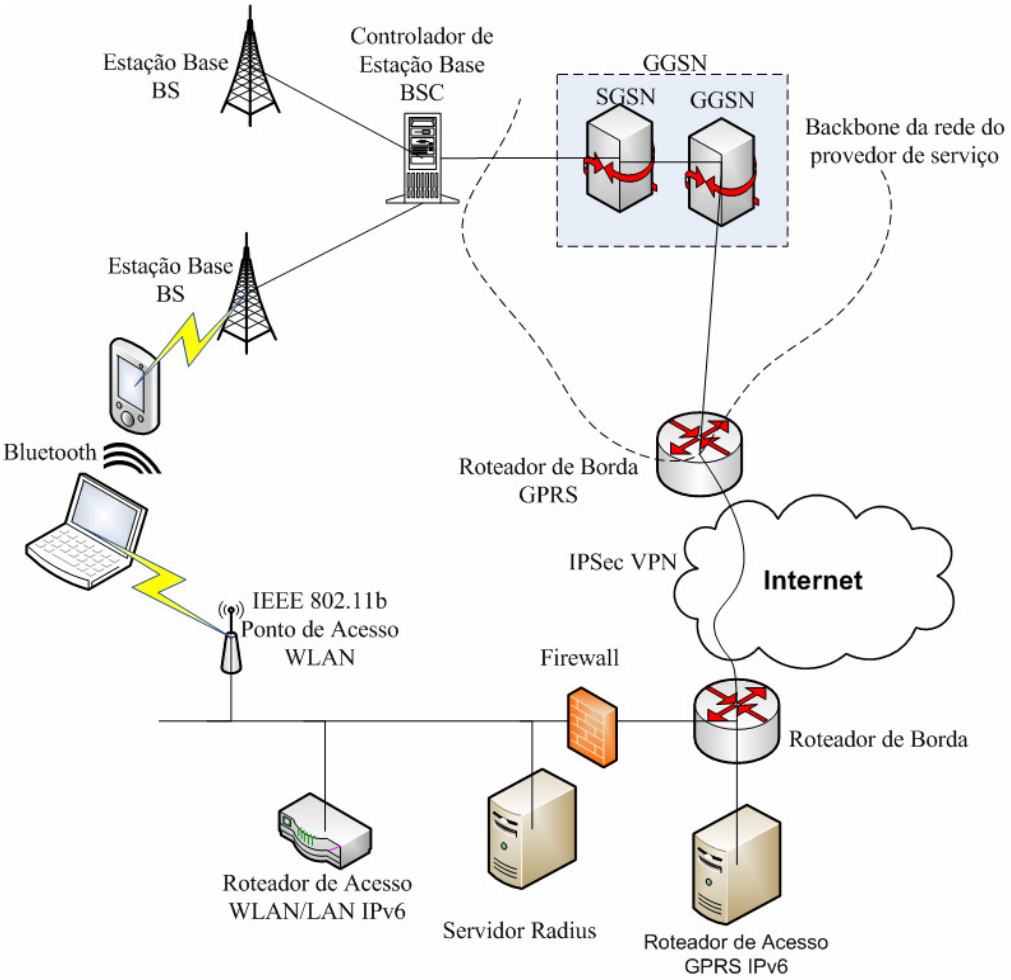


Figura 5-11 Configuração do ambiente de testes no laboratório de pesquisa da Universidade de Cambridge (adaptado de Vidales, 2005)

O sistema baseado em políticas utilizou conceitos de Sistemas Autônomos propostos pela IBM (Stojanovic, 2004) para autoconfiguração com base em informações de contexto. A arquitetura do modelo *handover* ciente de contexto ficou dividida em dois componentes: rede e dispositivo móvel. Essa decisão de projeto foi tomada por restrições de processamento do lado do dispositivo, deixando o processamento mais complexo pelo componente de rede. Os componentes do dispositivo do usuário estão organizados em três camadas – Gerenciamento de Contexto, Gerenciamento de Políticas e Execução das Regras – as quais estão situadas acima da camada 3 da pilha do protocolo (camada IP). Os componentes da rede tratam aspectos de especificação e distribuição das políticas de gerenciamento de *handovers*.

A separação em componentes e o uso de políticas o gerenciamento de *handovers* demonstraram neste trabalho que é possível oferecer mobilidade aos usuários entre tecnologias de redes distintas sem impactar na qualidade da conexão. O modelo baseado em políticas diminuiu a complexidade na interação durante *handovers* e não demandam alterações na infra-estrutura instalada (Vidales, 2005).

Os conceitos tratados no PROTON foram expandidos no trabalho desta tese para interação com outras entidades durante o *handover*, por exemplo, a entidade moderadora (*broker*).

5.7.7 Modelo para centralização de dados de assinantes

A proposta de Deihl et al. (2005a, 2005b) é utilizar um modelo de dados flexível orientado a objeto que possua uma estrutura comum que atenda a todas as partes do gerenciamento do perfil do assinante entre várias operadoras. As informações sobre os perfis dos usuários com base nesse modelo estariam centralizadas em um banco de dados único. O projeto cobre as tecnologias GSM e UMTS, mas pode haver adaptações no modelo para compartilhar as informações com outras tecnologias.

Atualmente, o perfil de um assinante é distribuído entre várias entidades de rede dentro de um mesmo domínio de operadora. Cada entidade possui o seu modelo de dados para armazenar as informações sobre o perfil do assinante. Isto ocorre porque órgãos de padronização tais como o 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) define somente as funcionalidades de cada entidade e suas interfaces externas. A representação interna do perfil do assinante na entidade ou na aplicação, e o modelo de dados associado não são padronizados. Cada fornecedor de entidade de rede pode criar o seu próprio modelo, desde que as funcionalidades e as interfaces externas estejam de acordo com o padrão estabelecido. Entre as vantagens do uso de um banco de dados comum são citados a simplificação da administração e o armazenamento de todas as informações e serviços de suporte para um perfil de assinante completo. Esses serviços são Tarifação, Gerenciamento do Relacionamento com o Usuário (CRM), Mineração de Dados e Gerenciamento de Identidade. Deihl et al. (2005b) propuseram a expansão de um banco de dados comum com informações de assinantes de operadoras com tecnologia GSM e UMTS, e como esse banco de dados poderia agregar também perfis de assinantes de redes com tecnologias para WLAN (802.20, 802.16) e outras tecnologias.

As idéias desse projeto foram utilizadas na concepção da entidade moderadora para AAA (*broker* AAA) na classe "AAA" dos assinates de serviços para o modelo SOHand no trabalho desta tese.

5.7.8 Uma ontologia para autenticação wireless genérica

Com base no trabalho de Deihl et al. (2005a, 2005b), Alazeib (2005) propôs uma ontologia para autenticação de assinante em redes com tecnologias distintas através de um banco de dados centralizados com as informações normalizadas sobre o perfil do assinante e seus parâmetros de autenticação nas redes.

O modelo de dados comum no banco de dados estaria baseado em uma ontologia que descreve além da estrutura comum, o significado semântico das informações e seus relacionamentos. Os problemas descritos por Alazeid (2005) nas redes de serviços são:

- Vários domínios;
- Muitos elementos de rede em cada domínio;
- Falta de padronização dos dados entre os elementos de rede;
- Conjuntos separados de informações sobre o assinante em cada elemento de rede;
- Informações replicadas sobre o assinante nos elementos de rede;
- Vários protocolos e interfaces para comunicação entre os nós de comunicação;
- Crescente complexidade.
- Gastos em elevação.

A ontologia desenvolvida por Alazeid (2005) engloba os domínios das tecnologias GSM, UMTS e WLAN. A Figura 5-12 ilustra a consolidação lógica dos modelos de cada tecnologia – com o uso de ontologia – e a consolidação física com um banco de dados centralizado.

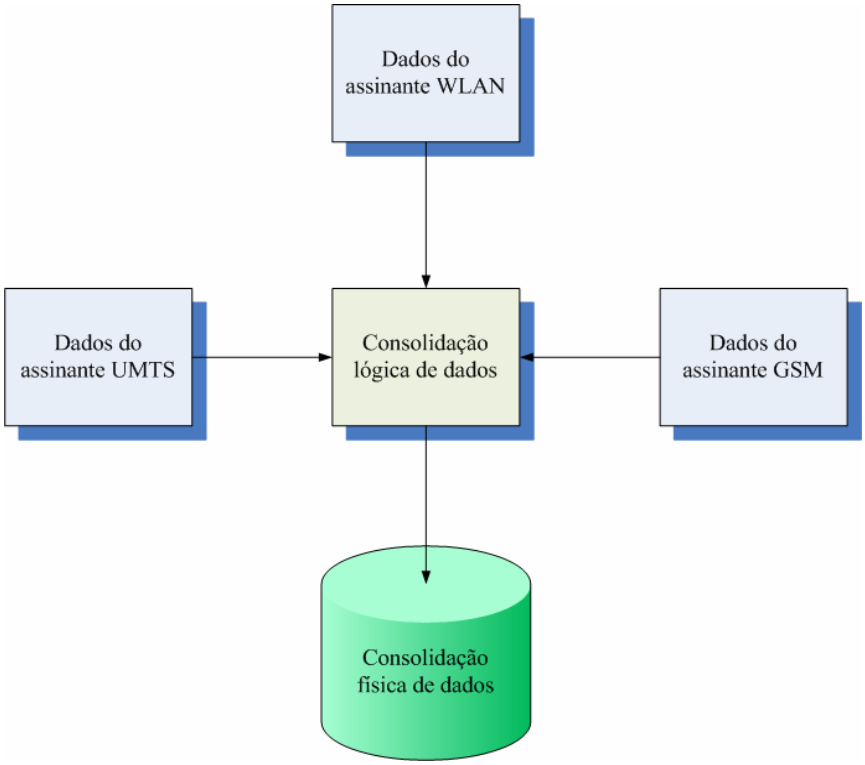


Figura 5-12 Consolidação lógica e física dos dados dos assinantes (adaptado de Alazeib, 2005)

A ontologia de Alazeid (2005) consiste de 14 classes principais:

- **Algoritmo**. Essa classe irá identificar o tipo de algoritmo utilizado para autenticação nas redes GSM e UMTS.
- **MétodoAutenticação.** Identifica o método de autenticação utilizados nas redes com tecnologia para WLAN.
- **TipoAutenticação.** Representa o tipo de identificação dentro do método selecionado.
- **Certificado.** Certificado digital utilizado pelo usuário na autenticação.
- **CertificadoComponente.** Componente utilizado no certificado digital.
- **Código.** Tipos de códigos a serem utilizados (CountryCode, MobileCountryCode, MobileNetworkCode, NationalDestinationCode).
- **BancoDados.** Descreve os bancos de dados utilizados pelas redes GSM, UMTS e WLAN.

- **Identidade.** Tipo de identificação utilizada pela rede (GSM, UMTS, WLAN) para identificar o assinante.
- **Chave.** Chave utilizada no processo de autenticação.
- **Rede.** Essa classe é o domínio modelado pela ontologia. Todas as classes na ontologia correspondem a uma ou mais redes descritas nessa classe.
- **Número.** Descreve os números associados a cada rede (HLRNumber; MSISDN, MobileSubscriberIdentificationNumber, SubscriberNumber, IndividualSubscriberNumber, FixedTelephoneNumber).
- **Serviço.** Existem 3 tipos de serviços descritos nessa classe: básico, especializado e multimídia. Essa classe descreverá os serviços disponíveis ao assinante. Serviços multimídia são disponíveis em redes UMTS e WLAN e incluem vários serviços como *Multimedia Messaging Service* (MMS).
- **DadoUsuário.** Informações sobre o assinante para possibilitar sua identificação e utilização de serviços nas redes tratadas.
- **Assinante.** Classe vazia que será utilizada para associação entre usuário e serviço. Por ex. um dado usuário é assinante do serviço X.

Essas classes estão relacionadas à descrição dos dados de autenticação armazenados nos registros de perfis para as redes GSM, UMTS e WLAN.

Todas as classes da ontologia de Alazeib foram analisada e replicadas no trabalho desta tese.

5.8 Considerações Finais

A tecnologia ontologia, escolhida para apoiar a solução do problema exposto nesta tese, foi explicada através da descrição do conceito de ontologia, da forma de utilização, da metodologia de desenvolvimento, das linguagens de programação e de ontologias existentes que são relacionadas ao trabalho desenvolvido.

No próximo capitulo serão apresentados os conjuntos de ontologias que foram desenvolvidas para os modelos de referência para plataformas 4G – descritos no capítulo 4.

Capítulo 6 Ontologias modeladas para 4G

6.1 Considerações Iniciais

Independente da metodologia utilizada e do domínio de conhecimento tratado, o desenvolvimento de ontologias é um processo iterativo, dinâmico e custoso (Das et al., 2001). Esta afirmação é facilmente entendida quando é analisada a dinâmica do domínio de redes 4G trabalhado. Primeiro, esse novo paradigma de comunicação em redes convergentes trata de conceitos heterogêneos oriundos de tecnologias de comunicação, de domínios de gerenciamento, de serviços e de dispositivos de usuários distintos. Segundo, novos conceitos foram definidos para a integração nas plataformas 4G e nas soluções apresentadas. Por último, com a evolução do paradigma 4G e com o desenvolvimento das plataformas, novos conceitos são criados, alguns excluídos e outros adaptados.

As ontologias descritas neste trabalho são interpretações baseadas nas visões dos especialistas das plataformas consultados e nas pesquisas durante o período do doutorado, na medida em que as interpretações mudam ou amadurecem, as ontologias devem acompanhar essa evolução. Desta forma, uma ontologia não é completa ou errada, mas de acordo com os requisitos previamente estabelecidos pelo desenvolvedor, ou seja, consistente com os conceitos e relacionamento mapeados no domínio escolhido. Quando uma ontologia é adaptada às mudanças nas interpretações, é evitado que esta se torne inconsistente com a realidade.

Este capítulo apresenta as atividades realizadas durante o processo de desenvolvimento das ontologias dos modelos para plataformas 4G – Y-Comm, SOHand e Haggle, os principais conceitos e relacionamentos das ontologias, juntamente com as propriedades e restrições mais relevantes de cada conceito. Um conjunto de ontologias denominado DOHand (*Domain Ontology for Handover*) complementa as ontologias dos modelos com os conceitos comuns nas plataformas de comunicação.

6.2 Desenvolvimento das Ontologias

As atividades realizadas durante o desenvolvimento das ontologias para as plataformas Y-Comm, SOHand e Haggle seguem a metodologia sugerida por Fernández et al. (1997), conforme foram apresentadas na seção 5.4.

6.2.1 Planejamento e Especificação

Na fase de planejamento e especificação, foi definido o domínio das ontologias, seus principais objetivos, seus usuários em potencial, e as tarefas e recursos necessários para o desenvolvimento.

a) Definição do domínio: modelos para plataformas 4G em ambientes ubíquos;
b) Objetivos principais: formalizar e normalizar conceitos utilizados nos modelos e em ambientes de comunicação para auxiliar no entendimento comum; reduzir o tempo de aprendizado; organizar e agrupar os itens de interesse por domínio, tecnologia e serviço; dar suporte ao processo de *handover* em redes heterogêneas.
c) Usuários em potencial: os potenciais usuários do conjunto de ontologias desenvolvidas são administradores e ferramentas de gerenciamento de redes 4G, desenvolvedores de serviços para os modelos formalizados, desenvolvedores de sistemas seguindo as arquiteturas sugeridas pelos modelos.
d) Tarefas: as tarefas foram as sugeridas pela metodologia escolhida – *Methontology* (Fernández et al. 1997).
e) Recursos: ferramenta computacional para modelar a ontologia (Protégé), linguagem de formalização (OWL), especialistas nas plataformas 4G para entendimento dos conceitos, desenvolvedor das ontologias e grupo de pesquisa para discussão e testes integrados.

6.2.2 Aquisição de Conhecimento

Após a definição do domínio de conhecimento – redes 4G – e os objetivos da ontologia na fase anterior, foram estudadas as recomendações de institutos de padronização – ITU-T, IEEE, 3GPP e 3GPP2 – e as sugestões de modelos descritos em artigos aceitos em eventos da área. Três modelos foram utilizadas: (a) SOHand (seção

4.3.2), definida pelo grupo de pesquisa na área de redes do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo em São Carlos; (b) Y-Comm (seção 4.3.1), definida pelo grupo de pesquisa na área de redes da Universidade de Cambrigde e Universidade de Middlessex de Londres na Inglaterra; e (c) Haggle (seção 4.3.3), definida pelo grupo de pesquisa na área de redes da Universidade de Cambridge na Inglaterra e o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT). Além das recomendações e das plataformas, as taxonomias definidas por outros trabalhos (seção 5.7) foram analisadas para o trabalho.

No ano de 2007, a autora desta tese realizou estágio de um ano de doutorado sanduíche[80] na Universidade de Cambridge, onde trabalhou com os idealizadores e desenvolvedores das plataformas Y-Comm e Haggle, possibilitando o refinamento das "questões de competência" (Gruninger Fox, 1995). Essas questões auxiliaram na escolha dos conceitos a serem representados pela ontologia na fase de Conceituação. No nível mais alto de abstração, as questões de competência para escolha dos conceitos das ontologias são:

- Como redes heterogêneas poderão trocar informações gerenciais de forma homogênea?
- Quais são as informações gerenciais mínimas para o intercâmbio entre as redes 4G?
- Como lidar com políticas de segurança e privacidade?
- Como e onde coletar as informações a serem gerenciadas?
- Como manter a qualidade do serviço em andamento após a mudança de rede provedora de acesso?
- Como será feita a cobrança do serviço de acesso oferecido de forma global?
- Quais características devem ser adicionadas aos serviços oferecidos nessas redes?
- Quais são as tecnologias de redes sem fio mais utilizadas em redes WLAN, WMAN e Telefonia móvel?

---

[80] Currículo lattes da aluna de doutorado e autora desta tese:
http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.jsp?id=K4728290P6

- Quais são as tecnologias emergentes para integração de redes sem fio?
- Quais são os modelos para plataformas 4G que seguem as recomendações dos Institutos de padronização que podem ser complementares em ambientes ubíquos?
- Quais são os principais desafios na integração dos ambientes atuais?
- Quais serviços podem ser utilizados para auxiliar a mobilidade dos usuários nessas plataformas?
- Quais são as demandas dos usuários no acesso sob demanda?
- Quais são as falhas nas políticas de mudanças de ponto de acesso atuais? E quais podem ser aplicadas em ambientes integrados?
- Quais informações devem ser compartilhadas entre domínios de gerenciamento distintos participando no provimento contínuo de acesso a usuários de serviços de comunicação?
- Quais informações são específicas de cada domínio de gerenciamento e devem ser confidenciais?
- Quais informações pertencem ao núcleo da rede, quais se referem às redes periféricas, quais estão relacionadas aos dispositivos dos usuários e aos usuários propriamente ditos?
- Quais são os relacionamentos entre os conceitos escolhidos?
- Quais são os fatores técnicos que levam os usuários a mudarem de pontos de acesso?
- Quais são os fatores não-técnicos (incentivos) que motivam os usuários a mudarem de pontos de acesso?
- Quais informações de contexto agregam valor em plataformas 4G?

A atividade de aquisição de conhecimento foi realizada durante todo o processo de desenvolvimento das ontologias. Como os especialistas nas plataformas acompanharam parte do processo de desenvolvimento, o próprio questionamento para mapeamento dos conceitos fomentou a revisão do entendimento comum e a criação de novos relacionamentos.

6.2.3 Conceituação

Nessa fase são definidos os conceitos que serão representados nas ontologias, e é totalmente dependente do entendimento do domínio de conhecimento. Por isso, o contato com os especialistas na área e a leitura de artigos são pontos importantes para o melhoramento do conhecimento mapeado. Os estudos nessa fase junto com as fases anteriores definem os conceitos descritos nas ontologias. A conceituação é a atividade mais difícil e trabalhosa de todo o processo. A partir dos conceitos de alto nível descritos em cada plataforma, as ontologias foram especializadas para alguns serviços de interesse. Esse tipo de abordagem é conhecido como *middle-out*, proposto por Uschold e Gruninger (1996). Os principais conceitos de um domínio de conhecimento são identificados e dão início ao desenvolvimento do conjunto de ontologias. A vantagem dessa abordagem com relação às *top-down* e *bottom-up*, também propostas por Uschold e Gruninger, é que quando os conceitos principais estão definidos e estáveis, torna-se possível a especialização dos mesmos quando se faz necessário, minimizando o esforço de manutenção da ontologia. A taxonomia dos conceitos é descrita na forma de classes e subclasses, e seus relacionamentos hierárquicos ou não, na forma de atributos. A especialização da ontologia para um serviço específico requer somente o detalhamento da ontologia para atender aos requisitos de implementação.

Representação macro do Y-Comm

A ontologia do Y-Comm (Vanni et al., 2009), ilustrada na Figura 6-1, representa os gerenciadores do modelo envolvidos em *handover* imperativo (seção 0), seus relacionamentos (interfaces), as informações de contexto das redes (estado, topologia, etc.), e o processo de *handover* imperativo de forma proativa e reativa em redes infra-estruturadas. As classes estão representadas por elipses e os relacionamentos pelos arcos.

No modelo Y-Comm, um **usuário** *possui* um **dispositivo** com recursos de hardware, como um **sensor** GPS, que enviam informações de contexto ao **gerenciador de políticas**. O **dispositivo** *executa* **aplicação** que *está relacionada* a uma certa **QoS**, e esta *possui* uma **conexão** TCP (sessão). A sessão da aplicação *informa* o **gerenciador de políticas** sobre a QoS requerida, e este por sua vez *retorna* a nova QoS e novo IP a serem utilizados com o novo ponto de acesso da rede. O **gerenciador de interface** *gerencia* as interfaces de rede e *envia* ao **gerenciador de políticas** eventos, gatilhos e

informações sobre QoS da rede em uso. O **gerenciador de políticas** *faz* polling no **gerenciador de rede** que *retorna* informações sobre a topologia das redes em uma vizinhança. O **gerenciador de handover** *recebe* do **gerenciador de políticas** as informações (rede, tecnologia, QoS) para *executar* um handover imperativo. Desta forma, o **gerenciador de handover** *solicita* recursos ao **gerenciador de reconfiguração** que *retorna* os recursos reservados (canal, estação, QoS, etc.). O **gerenciador de estação base** *gerencia* as estações e *reserva* os recursos solicitados. No caso de handover pró-ativo, é o **gerenciador de rede** que *determina* o momento do handover depois da negociação com o **gerenciador de políticas**, no caso do handover reativo, é o **gerenciador de reconfiguração** que *determina* após a requisição do **gerenciador de handover.**

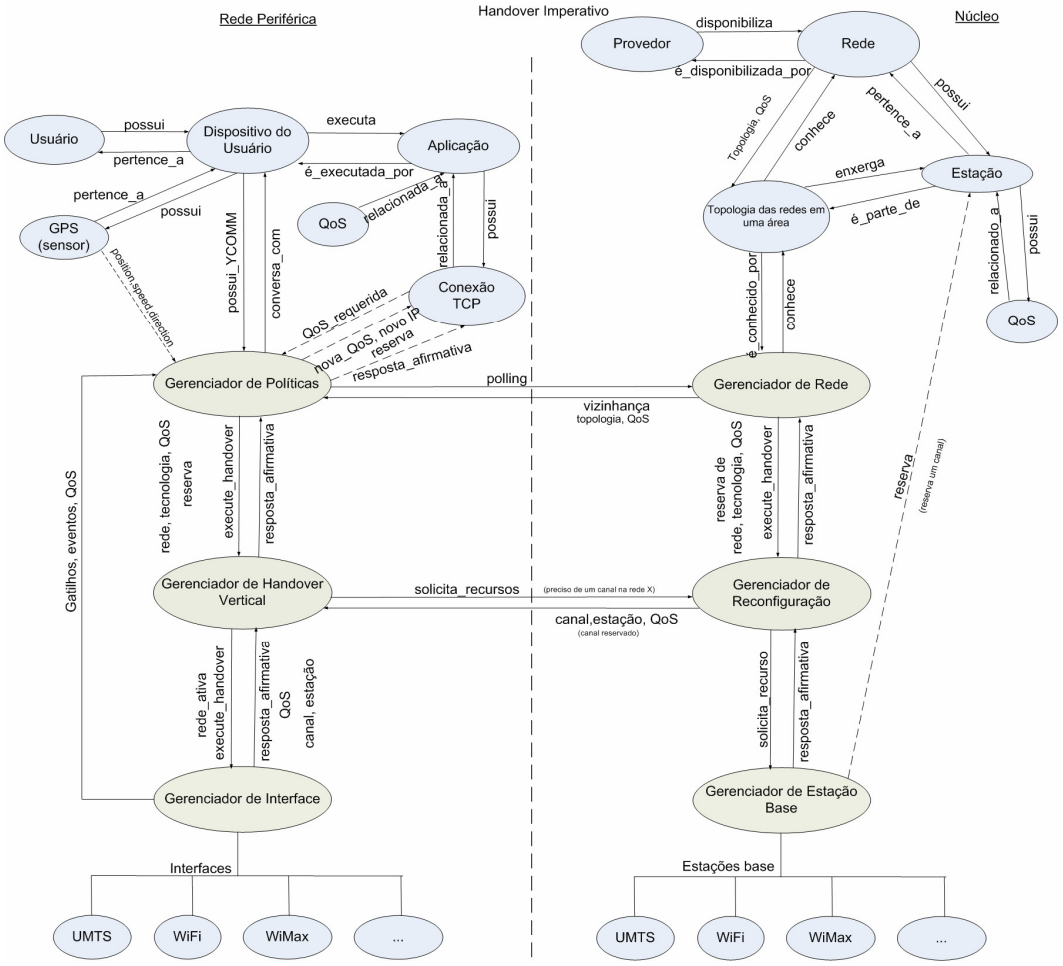


Figura 6-1 Conceitos mapeados na Ontologia Y-Comm (adaptado de Vanni et al., 2009)

A ontologia completa é composta pela taxonima de classes e subclasses de gerenciadores do Arcabouço Periférico e do Arcabouço do Núcleo (Figura 6-2), as entidades envolvidas na provisionamento de serviços e utilização (usuário, provedor, broker de autenticação, broker de mapeamento de topologia, etc.), e os relacionamentos existentes entre todos. Um exemplo da representação em OWL sobre conhecimento a ser explicitado, pode ser visto na Figura 6-2 pela classe "GerenciadorPolitica" que é ao mesmo tempo uma subclasse (*is-a*) de "Camada", "Gerenciador" e "RedePeriférica" (arcabouço); onde os três últimos são subclasses (*is-a*) de Y-Comm.

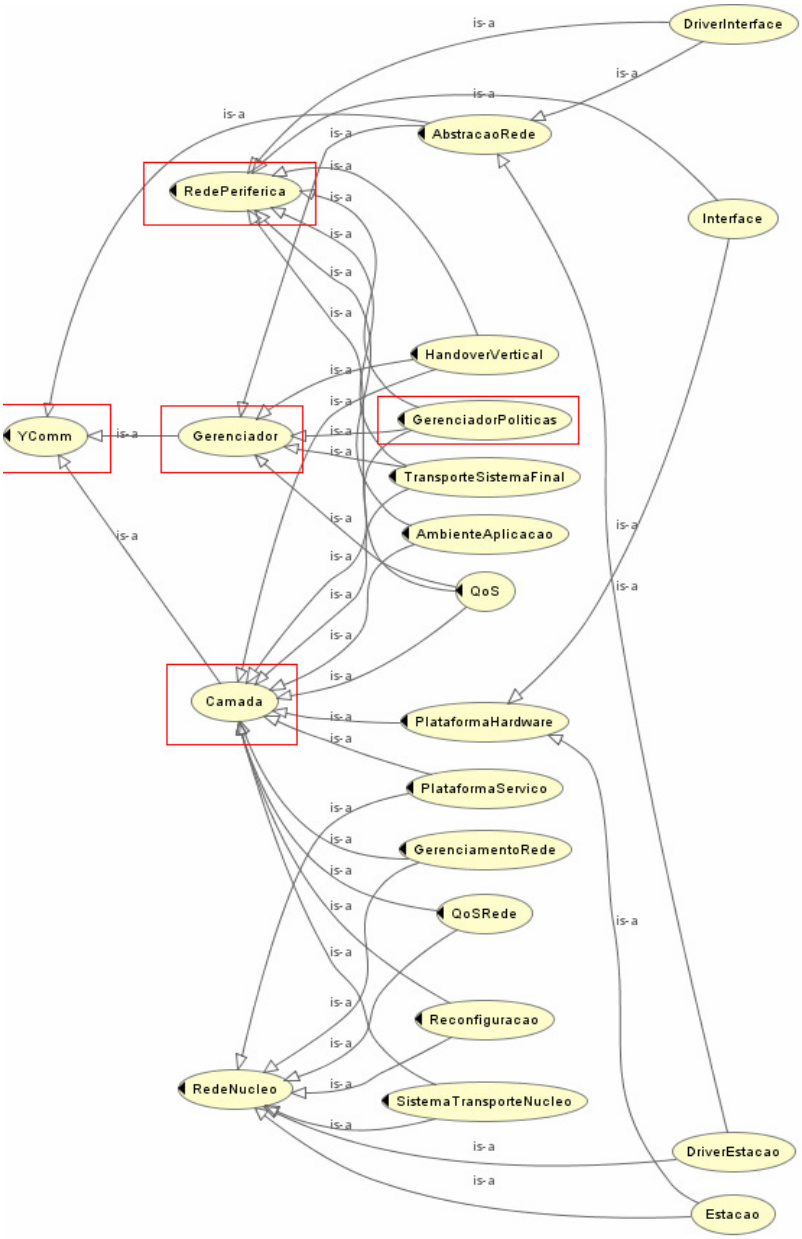


Figura 6-2 Taxonomia de Classes na Ontologia do Modelo Y-Comm

Representação macro do SOHand

A ontologia do SOHand, ilustrada na Figura 6-3, representa os gerenciadores do modelo envolvidos em *handover* alternativo (seção 0), seus relacionamentos (interfaces), as informações de contexto das "fontes de contexto" (aplicação, usuário, ambiente, rede, dispositivo), e o processo de *handover* alternativo em redes infra-estruturadas. As classes estão representadas por elipses e os relacionamentos pelos arcos.

No modelo SOHand, no lado cliente, um **usuário** *possui* um **dispositivo** que executa uma **aplicação.** Esse **dispositivo** *possui* **fontes de contexto** (sensores ou aplicações) que *capturam* informações de contexto e *enviam* ao **gerenciador de contexto**. O **gerenciador de negociação** consulta o **gerenciador de contexto** e depois de analisar os contextos com as informações das redes disponíveis, decide quando **executar** um handover. No lado do provedor, o **gerenciador de negociação** *envia* as informações das redes (políticas sobre preço, segurança, QoS, etc.) à sua contra-parte no cliente. Quando ocorre um handover, o **gerenciador de negociação** no provedor *conhece* (ou possui) um **broker de autenticação** para autenticar o usuário na nova rede.

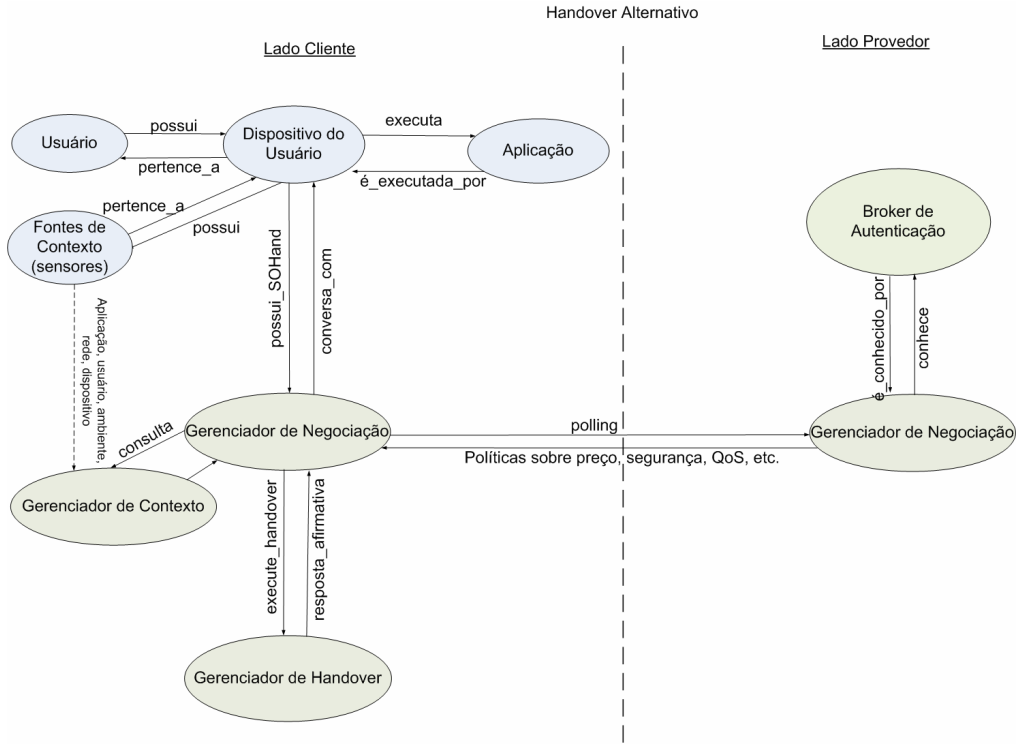


Figura 6-3 Conceitos mapeados na ontologia SOHand

A ontologia completa é composta pela taxonomia de classes e subclasses de gerenciadores do lado cliente e do lado servidor (Figura 6-4), as entidades envolvidas na provisionamento de serviços e utilização (usuário, provedor, broker de autenticação, etc.), e os relacionamentos existente entre todos.

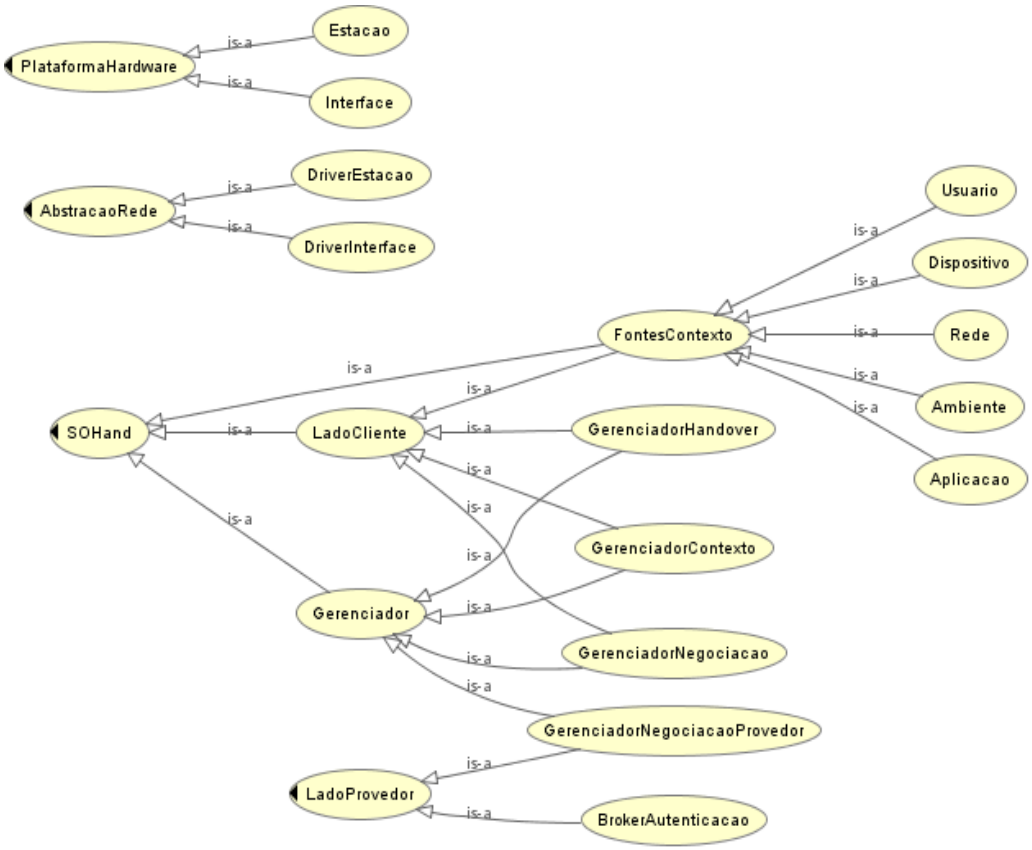


Figura 6-4 Taxonomia de Classes na Ontologia do Modelo SOHand

<u>*Representação macro no Haggle*</u>

A ontologia do Haggle, ilustrada na Figura 6-5, representa os gerenciadores do modelo envolvidos em *handover* oportunístico (seção 0), e seus relacionamentos (interfaces). As classes estão representadas por elipses e os relacionamentos pelos arcos.

No modelo Haggle, o **gerenciador de dados** *armazena, pesquisa e gerencia* a gravação de **DO**. O **gerenciador de nomes** *constrói* os grafos **NO** e envia ao **gerenciador de dados** para armazenamento, e quando precisa consultar algum grafo,

solicita o mesmo. A **aplicaçao** *envia e solicita* **DO** associado a estas, **ao gerenciador de DO**. O **gerenciador de conectividade** *descobre, conecta e conversa* com nós **vizinhos**, *calcula* o custo (dinheiro, bateria e tempo) de envio dos dados e *estabelece* **conexões** com **vizinhos**. O **gerenciador de protocolos** *recebe* do **gerenciador de conectividade** a lista de **vizinhos** (conexões) e custo por conexão (dinheiro, bateria, tempo). Esse gerenciador também recebe os **FO** do gerenciador de encaminhamento e decide se os nós vizinhos disponíveis podem ser alcançados pelos protocolos e, em caso afirmativo, *envia* um tupla {Protocolo, NO, Vizinho} relacionado ao FO para o **gerenciador de recursos**. Quando **o gerenciador de recurso** decide liberar uma **tarefa**, esta é entregue ao **gerenciador de encaminhamento** para que o **protocolo**, que enviará o **FO** ao **NO** destino através de um **vizinho**, a *execute*.

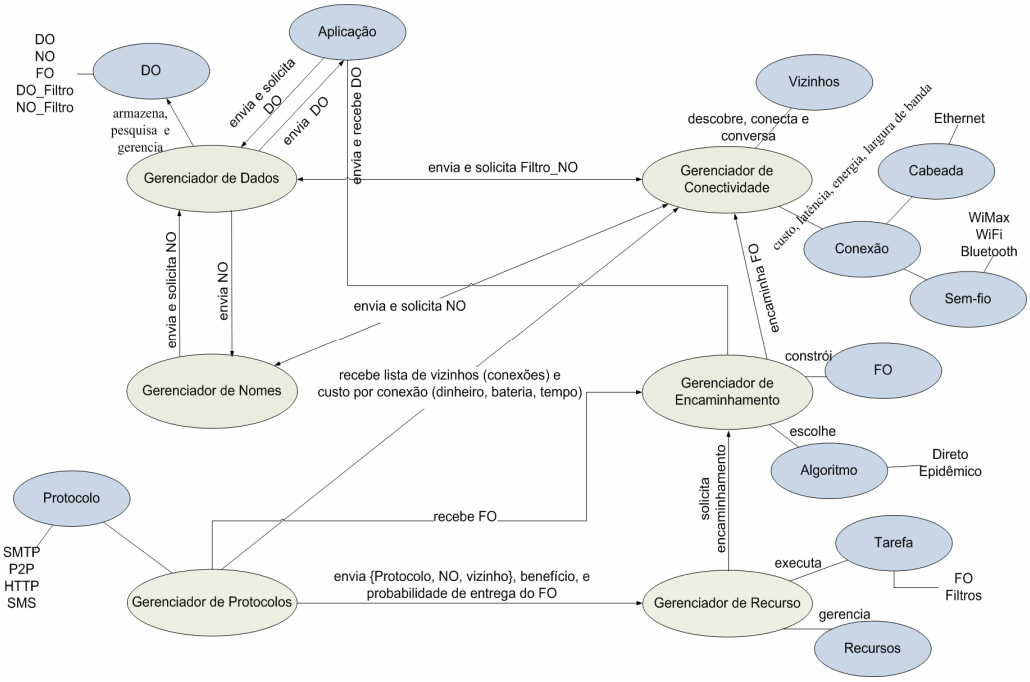


Figura 6-5 Conceitos mapeados na ontologia Haggle

A ontologia completa é composta pela taxonomia de classes e subclasses de gerenciadores (Figura 6-6), os conceitos relacionados aos gerenciadores (DO, Tarefa, Recurso, Protocolo, etc.), e os relacionamentos existentes entre todos.

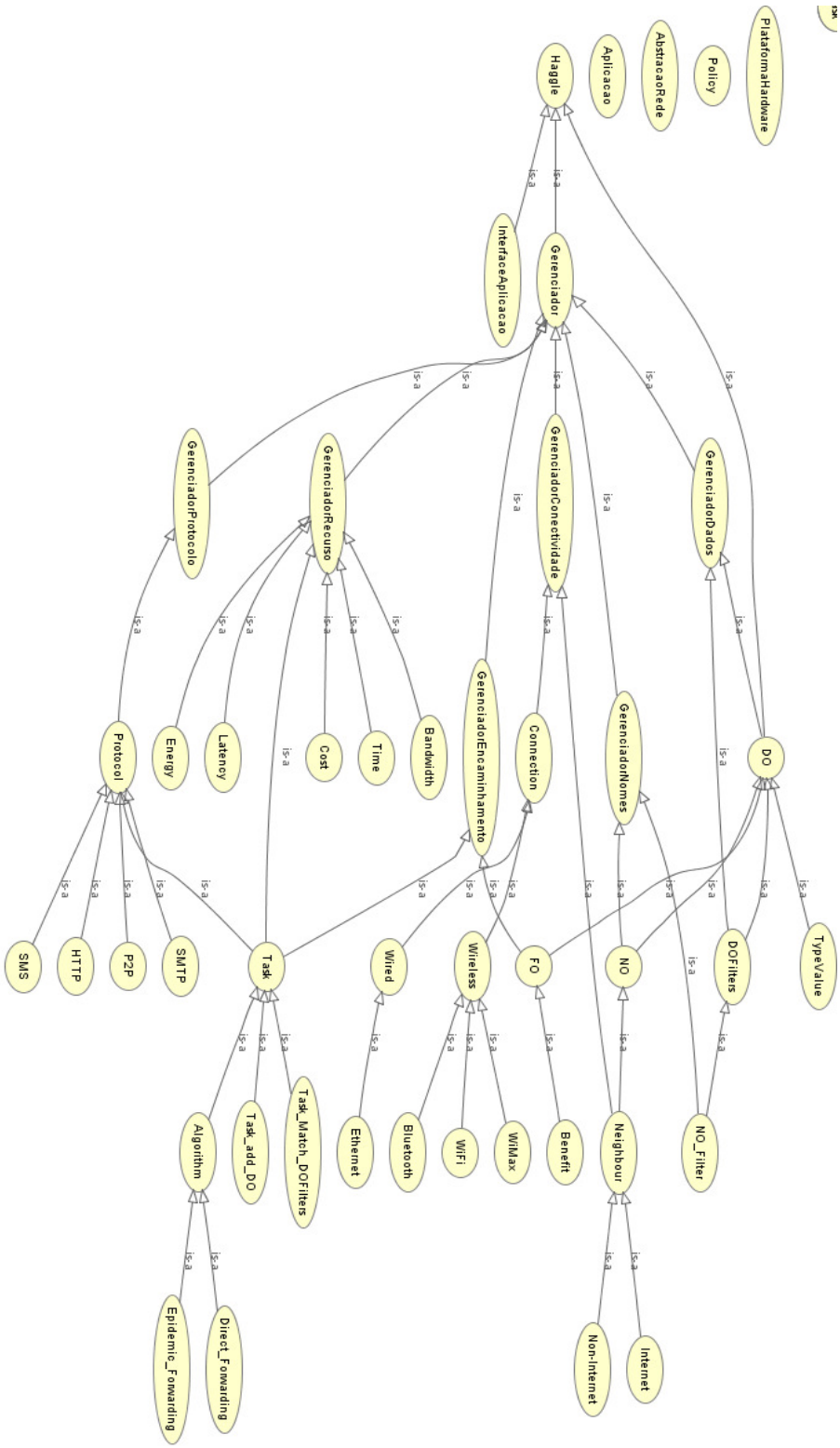


Figura 6-6 Taxonomia expandida de Classes na Ontologia do Modelo Haggle

Representação macro dos conceitos comuns

A ontologia de conceitos comuns DOHand (Vanni et al., 2005; 2006), centrada no usuário, representa as entidades envolvidas nas plataformas de acesso. A Figura 6-7 ilustra as principais classes (elipses) e relacionamentos (arcos). Um **usuário** *possui* um[81] **dispositivo** móvel que *possui* **recurso de hardware** (por ex., sensor GPS) e **interface de rede**. Uma **interface de rede** *implementa* um **padrão de rede** (por ex., UMTS, IEEE 802.11, IEEE 802.3, IEEE 802.16). Esse **usuário** *está inserido* em um **ambiente,** *tem* **preferência** setada (por ex. rede de acesso preferida, tipo de serviço, preço máximo, QoS mínima, etc.)**,** sua **privacidade** *está associada* à sua **preferência**, *tem* **perfil** (por ex., fumante, vegetariano, anda à pé, etc.), *possui* uma **reputação**, e *tem* **hábito** (por ex., usa sempre o mesmo percurso, almoça no restaurante X, busca o filho na escola, etc.) que *é associado* a uma **rota.** A **rota** de um usuário *pode estar relacionada* a uma **comunidade** a qual o **usuário** *é inscrito*. Uma **comunidade** *faz parte* de uma **rede social** (por ex., Orkut, Facebook, etc.) a qual *pertence* o **usuário**. Uma **rota**[82] possui **ponto de acesso** que *possui* um **padrão de rede** e *oferece* uma **QoS** *provida* pela **rede** a qual o **ponto de acesso** *pertence*. A **rede** é uma **rede sem-fio** ou uma **rede-cabeada**, no caso da **rede sem-fio**, esta pode ser **infra-estruturada** ou **ad-hoc**. Uma **rede** *é disponibilizada* por um **provedor**. Um **provedor** pode ser **provedor de acesso** e **provedor de conteúdo**. O **provedor** *oferece* um **serviço** (chat, transmissão de vídeo, acesso, etc.) e *possui* **método AAA** (por ex., servidor Radius) que, por sua vez, *possui* um **método de autenticação**, um **método de autorização** e um **método de tarifação**. Um **usuário** *conecta-se* a um **ponto de acesso** e executa uma **aplicação,** no seu dispositivo, que *está associada* a sua **preferência** e *usa* um **serviço** pela rede. Os contextos estão associados a suas fontes de contexto, ou seja, o **contexto do usuário** *possui* informações sobre o **usuário**, o **contexto da aplicação** *possui* informações sobre a **aplicação,** o **contexto do ambiente** *possui* informações sobre o **ambiente,** o **contexto**

[81] No código da ontologia os relacionamentos podem também ser 1:1, 1:N, N:M, por ex. um usuário possui 1 ou mais dispositivos.

[82] Uma rota possui mais de um ponto de acesso.

da rede *possui* informações sobre a **rede,** e o **contexto do dispositivo** *possui* informações sobre o **dispositivo**.

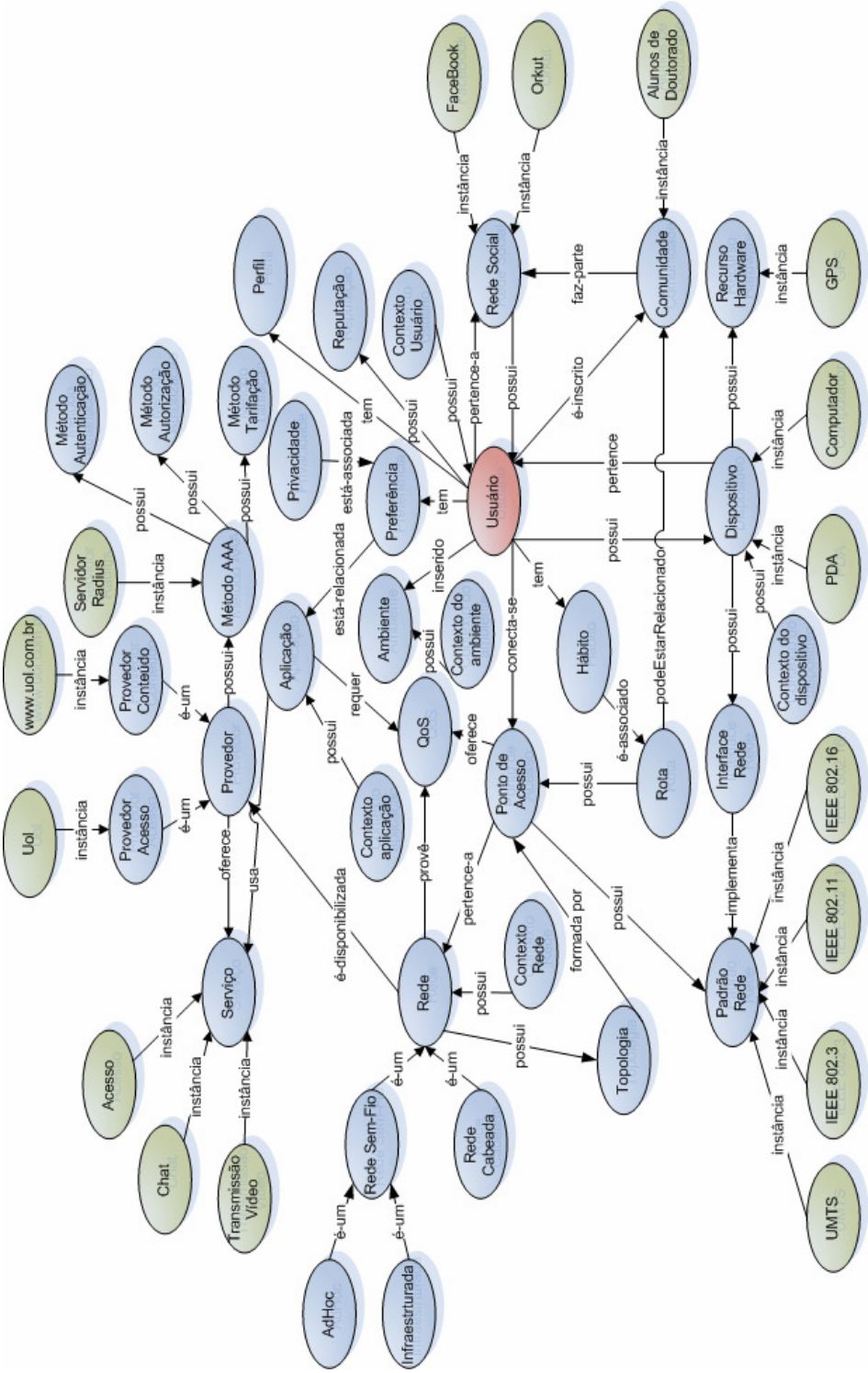


Figura 6-7 Conceitos em redes de comunicação mapeados na ontologia DOHand

6.2.4 Formalização

O conjunto de ontologias foi escrito em linguagem OWL DL (seção 5.5.2), e modelada com o auxilio do editor Protege-OWL (seção 5.6.1), que permite a geração automática de código em OWL. A ontologia comum será usada como exemplo das implementações em OWL.

Cabeçalho

Os documentos OWL são chamados de ontologias OWL e são documentos RDF (seção 5.5.1). O elemento raiz da ontologia OWL é um elemento `rdf:RDF`, o qual também especifica um número de espaços de nomes:

```
<rdf:RDF
     xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#">
     xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
     xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
     xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
```

Toda ontologia deve iniciar com um conjunto de assertivas para o propósito de organização. Essas assertivas estão agrupadas abaixo do elemento `owl:Ontology`, o qual contém comentários, controle de versão, e a inclusão de outras ontologias. Por exemplo:

```
<owl:Ontology rdf:about="">
    <rdfs:label>Ontologia DOHand - Domain Ontology</rdfs:label>
    <rdfs:comment xml:lang="pt">Ontologia para plataformas de
       comunicação centrada no usuario</rdfs:comment>
    <owl:imports
       rdf:resource="http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/User.owl"/>
</owl:Ontology>
```

Somente uma dessas assertivas não acarreta nenhuma conseqüência ao significado lógico da ontologia, é a `owl:imports`, a qual contém a lista de outras ontologias cujos conteúdos são assumidos como parte da ontologia em uso. Na ontologia DOHand a ontologia `User` é importada.

Classe

Classes em OWL são definidas pelo elemento `owl:class`. O conceito "Provedor de Acesso" é uma classe que é subclasse da classe "Provedor".

```
<owl:Class rdf:about="#Provedor_Acesso">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Provedor"/>
</owl:Class>
```

Para definir que uma classe é separada de outra, ou seja, não há elementos comuns, usa-se o elemento `owl:disjointWith`. A classe "Método de Autenticação" é uma classe separada da classe "Método de Tarifação".

```
<owl:Class rdf:about="#Metodo_Autenticacao">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Metodo_AAA"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Metodo_Tarifacao"/>
</owl:Class>
```

Quando duas classes são equivalentes, o elemento utilizado é `owl:equivalentClass`, ou seja, todos os elementos de uma classe pertencem a outra classe, e vice-versa. A classe "Padrão de Rede" é equivalente à classe "Tecnologia".

```
<owl:Class rdf:about="#Padrao_Rede">
        <owl:equivalentClass rdf:resource="#Tecnologia"/>
</owl:Class>
```

Propriedade

Em OWL existem dois tipos de propriedades:

- Propriedades de objetos que relacionam objetos a outros objetos. Por exemplo, "usuário" possui "dispositivo".
- Propriedades de tipos de dados, que relacionam objetos a valores de tipos de dados. Exemplos são: telefone, idade, endereço, etc. Em OWL não existem tipos de dados pré-definidos, os tipos de dados XML Esquema são utilizados para criar tipos de dados.

```
<owl:DatatypeProperty rdf:about="#idade">
    <rdfs:range rdf:resource=
"http://www.w3.org/2001/XMLSchema#negativeInteger"/>
</owl:DatatypeProperty>
```

Um exemplo de propriedade de objeto é em “usuário” *possui* “dispositivo”:

```
<owl:ObjectProperty rdf:about="#possui">
  <rdfs:range rdf:resource="#Dispositivo"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Usuario"/>
</owl:ObjectProperty>
```

A propriedade inversa, “dispositivo” *pertence* a “usuário”, pode ser declarada em OWL:

```
<owl:ObjectProperty rdf:about="#pertence">
    <rdfs:domain rdf:resource="#Dispositivo"/>
    <rdfs:range rdf:resource="#Usuario"/>
    <owl:inverseOf rdf:resource="#possui"/>
</owl:ObjectProperty>
```

A equivalência entre propriedades também são definas em OWL:

```
<owl:ObjectProperty rdf:about="#eh_dono">
    <rdfs:range rdf:resource="#Dispositivo"/>
    <rdfs:domain rdf:resource="#Usuario"/>
    <owl:equivalentProperty rdf:resource="#possui"/>
</owl:ObjectProperty>
```

Propriedade de restrições

Uma classe pode ser definida como uma subclasse de outra classe através de restrições em uma propriedade. A classe “Provedor de Acesso” é subclasse de “Provedor” quando um dos serviços que é oferecido é igual a “acesso”. A restrição `owl:hasValue` determina que pelo menos um dos valores oriundos da propriedade “é oferecido”, cujo domínio é a classe de “Serviços”, seja igual a “acesso”.

```
<owl:Class rdf:about="#Provedor_Accesso">
      <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>
                  <owl:onProperty rdf:resource:"#eh_oferecido"/>
                  <owl:hasValue rdf:resource=#acesso"/>
            </owl:Restriction>
      </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
```

As restrições de valores nas propriedades podem ser: `owl:allValuesFrom`, `owl:hasValue` e `owl:someValuesFrom`. Outros tipos são referentes à cardinalidade `owl:Cardinality`, `owl:minCardinality` e `owl:maxCardinality`.

Propriedades Especiais

Algumas propriedades são definidas diretamente nos elementos:

- `owl:TransitiveProperty` define uma propriedade transitiva, como a relação "pertence a" entre dispositivo e usuário.
- `Owl:SymmetricProperty` define uma propriedade simétrica, como a relação de equivalência entre tecnologias com a mesma cobertura (WLAN, WMAN, ...).
- `owl:FunctionalProperty` define uma propriedade que deve possuir no máximo um valor por cada objeto, como "identificação do usuário", "SSID da rede", "tecnologia da interface".
- `owl:InverseFunctionalProperty` define uma propriedade na qual dois objetos distintos não podem possuir o mesmo valor, por exemplo "possuiEndereçoMAC" (o endereço MAC é único por interface)

As propriedades na ontologia:

```
<owl:ObjectProperty rdf:about="#pertence">
    <rdf:type rdf:resource="&owl;TransitiveProperty"/>
    <rdfs:domain rdf:resource="#Dispositivo"/>
    <rdfs:range rdf:resource="#Usuario"/>
</owl:ObjectProperty>

<owl:ObjectProperty rdf:about="#possui_mesma_cobertura">
    <rdf:type rdf:resource="&owl;SymmetricProperty"/>
    <rdfs:domain rdf:resource="#GSM"/>
    <rdfs:range rdf:resource="#UMTS"/>
</owl:ObjectProperty>

<owl:ObjectProperty rdf:about="#possui_SSID">
    <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
    <rdfs:domain rdf:resource="#Rede"/>
    <rdfs:range rdf:resource="#SSID"/>
</owl:ObjectProperty>
```

```
<owl:ObjectProperty rdf:about="#possui_MAC">
<rdf:type rdf:resource="&owl;InverseFunctionalProperty"/>
    <rdfs:domain rdf:resource="#Dispositivo"/>
    <rdfs:range rdf:resource="#Endereco_MAC"/>
</owl:ObjectProperty>
```

Combinações Booleanas

As classes em OWL podem ser formadas por combinações boolenas (união, intersecção, complemento).

A topologia de rede de uma região é formada pelos pontos de acesso disponíveis na área de cobertura da plataforma integrada em uma área pré-definida.

Instâncias

As instâncias das classes são declaradas em RDF, por exemplo o SSID de uma rede WLAN ser "minha_casa".

```
<SSID rdf:ID="minha_casa">
```

6.2.5 Integração

Na seção 5.7 foram listadas as ontologias relacionadas a este trabalho. O conjunto de ontologias desenvolvidas importou alguns conceitos e relacionamentos do conjunto de ontologias do modelo SeCoM (*Semantic Context Model*) desenvolvida por Bulcão Neto (2006), uma vez que o contexto do usuário e contexto do dispositivo em ambientes ubíquos tratados no SeCoM podem ser utilizados nas plataformas ubíquas das redes 4G.

O domínio de Comunicações[83] da ontologia SUMO (*Suggested Upper Merged Ontology*)[84] padronizada pelo grupo IEEE P1600.1[85] foi utilizada no mapeamento dos

[83] http://sigmakee.cvs.sourceforge.net/*checkout*/sigmakee/KBs/Communications.kif

[84] http://www.ontologyportal.org/

relacionantos da ontologia DOHand. A versão da ontologia SUMO em OWL[86] auxilou no desenvolvimento de classes e relacionamentos dos conceitos “provedor”, “usuário”, “rede, “ponto de acesso”, “dispositivo” e “serviço”.

O domínio de comunidades de pessoas da ontologia FOAF (*Friend of a Friend*)[87] forneceu conceitos mapeados na ontologia DOHand que são representados pelas classes “usuário”, “comunidade” e “rede social”, e seus relacionamentos.

A ontologia SOUPA (*Standard Ontology for Ubiquitous and Pervasive Applications*) (Chen et al., 2003 e 2004) foi utilizada para complementar as classes e relacionamentos de “usuário”, “perfil” e “dispositivo”.

A ontologia para autenticação wireless genérica de Alazeib (2005) é utilizada no processo de autenticação do usuário nos modelos das ontologias Y-Comm, SOHand e Haggle nas redes UMTS e WLAN. Os conceitos mapeados por Alazeib (2005) foram todos utilizados nas classes equivalentes das ontologias desenvolvidas.

6.2.6 Implementação

O editor Protégé permite a geração de código em linguagem Java[88] a partir das ontologias escritas em linguagem OWL. Desta forma, as classes, os relacionamentos e os atributos definidos na ontologia são gerados em Java, o que facilita o desenvolvimento de aplicações que utilizam as ontologias.

Duas aplicações foram desenvolvidas para oferecer serviços aos modelos de plataformas 4G desta tese, através da extensão das ontologias desenvolvidas. A primeira, no modelo Y-Comm, é um sistema de mapeamento de rotas que utilizou a ontologia Y-Comm (Vanni et al., 2009) para fornecer o serviço de topologia de redes, denominado Footprinting. A segunda, no modelo Haggle, é um sistema de confiabilidade e privacidade, denominado PrOHand (*Privacy Ontology For Handover*) (Gonçalves et al., 2009; Martimiano et al,. 2008b, Vanni et al., 2007), que especializou

---

[85] http://suo.ieee.org/

[86] http://www.ontologyportal.org/SUMO.owl

[87] http://xmlns.com/foaf/spec/

[88] http://java.sun.com/

a ontologia DOHand (Vanni et al., 2006) e usou conceitos do Haggle para fornecer um serviço de criação e verificação de reputação entre usuários no envio e recebimento de dados em Haggle.

Esses sistemas tiveram como principais objetivos: (i) verificar o esforço requerido na especialização da ontologia de uma plataforma para atender a um serviço específico; (ii) elaborar um guia de implementação de aplicações utilizando ontologias em OWL; (iii) dar suporte à afirmação de redução no tempo de estudo de domínios formalizados por ontologias; (iv) integrar trabalhos do grupo de pesquisa nas plataformas selecionadas para comunicação 4G.

6.2.7 Manutenção

A manutenção foi aplicada durante todo o desenvolvimento das ontologias, principalmente pelo amadurecimento adquirido ao longo do trabalho com relação ao domínio de conhecimento. As aplicações desenvolvidas para validação das ontologias mostraram pontos falhos nas definições e desencadearam manutenções em relacionamentos e conceitos. No entanto, o núcleo do conjunto de ontologias de cada plataforma não sofreu alterações, o que mostrou que a fase de conceituação extraiu corretamente as definições dos conceitos. Com a evolução das plataformas e a agregação de serviços ao ambiente integrado, as manutenções evolutivas e de especialização devem ser realizadas periodicamente.

6.2.8 Documentação

Os documentos gerados durante o desenvolvimento das ontologias são:

- Diagramas de conceitos e relacionamentos não-hierárquicos, ilustrados nas figuras Figura 6-1, Figura 6-3 e Figura 6-5.
- Hierarquia de Classes de cada plataforma, ilustrados nas figuras Figura 6-2, Figura 6-4 e Figura 6-6.
- Modelos conceituais e as arquiteturas dos sistemas Footprint (Vanni et al., 2009) e PrOHand (Gonçalves et al., 2009; Martimiano et al., 2008b, Vanni et al., 2007).
- Publicações de artigos (Vanni et al.,2007; 2006; Vanni e Moreira, 2006a, 2006b) e uma submissão em *Journal* (Vanni, et al., 2009)

6.2.9 Avaliação Qualitativa

No nível mais alto de abstração, as questões de competência são respondidas a seguir para uma avaliação qualitativa das ontologias:

a. *Como redes heterogêneas poderão trocar informações gerenciais de forma homogênea?*

O vocabulário comum disponibilizado e distribuído pelo conjunto de ontologias usando um modelo de distribuição, como o sugerido na Figura 7-8 do Capítulo 7, permite uma comunicação homogênea entre as redes.

b. *Quais são as informações gerenciais mínimas para o intercâmbio entre as redes 4G?*

As informações relacionadas ao processo de *handover* são as informações gerenciais mínimas para o intercâmbio entre redes 4G. No trabalho desta tese, foram consideradas as informações de *handover* imperativo, alternativo e oportunístico conforme especificação dos modelos Y-Comm, SOHand e Haggle. A ampliação das informações dependerá da evolução dos modelos citados e das novas tecnologias de redes sem fio a serem tratadas nas plataformas 4G desenvolvidas.

c. *Como lidar com políticas de segurança e privacidade?*

A ontologia PrOHand (Gonçalves et al., 2009; Martimiano et al., 2008b, Vanni et al., 2007), descrita na seção 7.2 do Capítulo 7, é uma extenção do conjunto de ontologias DOHand, e sugere um modelo para tratamento de questões de segurança e privacidade em redes integradas.

d. *Como e onde coletar as informações a serem gerenciadas?*

O moderador da comunicação (*broker*) coleta e distribui as informações gerenciais durante a comunicação entre as entidades envolvidas na comunicação. Nas comunicações diretas, uma instalação inicial e atualizações periódicas são necessárias para fornecer a estruturação das informações gerenciais. O dispositivo do usuário também coleta informações, conforme o modelo sugerido pelo Footpriting (Vanni et al., 2009) e descrito na seção 7.3 do Capítulo 7.

e. *Como manter a qualidade do serviço em andamento após a mudança de rede provedora de acesso?*

Os modelos Y-COMM e SOHand traram a qualidade de serviço durante todo o processo de mudança de acesso e durante a utilização do serviço. Inclusive, o processo de mudança de ponto de acesso é inciado quando a qualidade do serviço está aquém da esperada.

f. *Como será feita a cobrança do serviço de acesso oferecido de forma global?*

O trabalho relacionado descrito na seção 5.7.8 sugere um modelo de autenticação genérico que centraliza a autenticação, autorização e tarifação (AAA). A ontologia de AAA do modelo sugerido foi adotada pelo trabalho desta tese.

g. *Quais características devem ser adicionadas aos serviços oferecidos nessas redes?*

As características adotadas no trabalho desta tese são as sugeridas pelos modelos Y-COMM, SOHand e Haggle. A explorada pelas ontologias foi ciência de contexto, fornecendo as informações necessárias ao gerenciador de contexto das plataformas 4G com serviços cientes de contexto. Na ontologia DOHand são considerados os contextos do usuário, do ambiente, da aplicação, do dispositivo e da rede.

h. *Quais são as tecnologias de redes sem fio mais utilizadas em redes WLAN, WMAN e Telefonia móvel?*

As tecnologias consideradas neste trabalho são as listadas no Capítulo 2: Bluetooth para redes pessoais, WiFi para redes locais, WiMax para redes metropolitanas e UMTS para redes de celulares.

i. *Quais são as tecnologias emergentes para integração de redes sem fio?*

A tecnologia emergente para integração de redes sem fio adotada neste trabalho foi o padrão IEEE 802.21 (seção 3.4).

j. *Quais são os modelos para plataformas 4G que seguem as recomendações dos Institutos de padronização que podem ser complementares em ambientes ubíquos?*

Os modelos para plataformas 4G que são complementares e foram mapeados nas ontologias são: Y-Comm para provimento global, SOHand para provimento local e Haggle para encontros oportunísticos.

k. *Quais são os principais desafios na integração dos ambientes atuais?*

Os principais desafios na integração dos ambientes atuais tratados por este trabalho foram: vocabulário comum para troca de informações gerenciais, utilização de informações de contexto na escolha de novas redes, autenticação global em uma entidade de AAA genérica, modelos para integração das redes, e modelos de distribuição de informações sobre as topologias das redes.

l. *Quais serviços podem ser utilizados para auxiliar a mobilidade dos usuários nessas plataformas?*

Os serviços para mobilidade do usuário em redes heterogêneas oferecidos pelo padrão IEEE 802.21 são os escolhidos para este trabalho, a saber:

- Serviço de Eventos Independente do Meio (*Media Independent Event Service* – MIES), o qual fornece o relatório de eventos correspondente a mudanças dinâmicas nas características da rede, nos estados e na qualidade da comunicação/link;
- Serviço de Comandos Independente do Meio (*Media Independent Command Service* – MICS), o qual possibilita que usuários MIH gerenciem e controlem as mudanças de pontos de acesso;
- Serviço de Informação Independente do Meio (*Media Independent Information Service* – MIIS), o qual fornece informações de descoberta de redes e informações de distribuição de redes dentro de uma dada área geográfica – topologia das redes em uma vizinhança.

m. *Quais são as demandas dos usuários no acesso sob demanda*?

As demandas do usuário tratadas neste trabalho são QoS oferecida pela rede (por ex., largura-de-banda), incentivos oferecidos pela rede (por ex., preço), autenticação global na plataforma integrada (*broker* AAA), informações de contexto tratadas para escolha de novos pontos de acesso (por ex.., contexto do dispositivo) e serviços de gerenciamento de mobilidade (padrão IEEE 802.21).

n. *Quais são as falhas nas políticas de mudanças de ponto de acesso atuais? E quais podem ser aplicadas em ambientes integrados?*

As falhas nas políticas atuais apontadas pelo grupo IEEE 802.21 estão relacionadas: (a) à seleção de redes de forma restrita, onde apenas o critério de força do sinal dos pontos de acesso é considerado; (b) ao crescimento no número de interfaces de tecnologias distintas de redes disponibilizadas nos dispositivos dos usuários, potencializando a problemática no gerenciamento de mudanças de pontos de acesso; (c) ao desenvolvimento de vários mecanismos para lidar mobilidade e mudanças rápidas de pontos de acesso em redes IP, como MIPv4 e FMIPv6 (Johnson, 2004) (McCann, 2006); (d) à padronização de *triggers* (gatilhos), eventos e *hints (*dicas) na camada 2 do modelo TCP/IP, feita pelo IETF[89], porém não fornecidas pelos padrões da família IEEE 802 de maneira padronizada ou de forma independente do meio/padrão.

As políticas que podem ser aplicadas em ambientes integrados podem estar relacionadas às preferências do usuário, informações contextuais e incentivos da rede.

o. *Quais informações devem ser compartilhadas entre domínios de*

---

[89] Internet Engineering Task Force (IETF) é uma comunidade internacional de projetistas de redes, operadoras de serviços, empresas e pesquisadores que se preocupam com a evolução da arquitetura da Internet, de forma a manter as operações na rede estável. Seus objetivos estão descritos na RFC3935, disponível em http://www.ietf.org/rfc/rfc3935.txt

gerenciamento distintos participando no provimento contínuo de acesso a usuários de serviços de comunicação?

As informações compartilhadas entre domínios de gerenciamento distintos são as relacionadas às questões técnicas tratadas nas mudanças de ponto de acesso, por ex. o QoS requerido quando há serviço em andamento.

p. *Quais informações são específicas de cada domínio de gerenciamento e devem ser confidenciais?*

Cada domínio de gerenciamento pode possuir a sua própria ontologia que fará o mapeamento somente das informações compartilhadas. Entre as informações específicas podem ser mencionadas aquelas relacionadas aos assinantes da rede (por ex., plano de assinatura, data de validade, benefícios adquiridos, endereço pessoal) e ao negócio do provedor da rede (por ex., estratégias de incentivos, falhas operacionais).

q. *Quais informações pertencem ao núcleo da rede, quais se referem às redes periféricas, quais estão relacionadas aos dispositivos dos usuários e aos usuários propriamente ditos?*

Os modelos Y-Comm, SOHand e Haggle separam essas informações em suas arquiteturas. Desta forma, as ontologias deste trabalho baseiam-se nos modelos para a distinção dos conceitos.

r. *Quais são os relacionamentos entre os conceitos escolhidos?*

Os relacionamentos são definidos pelos modelos Y-Comm, SOHand e Haggle. Porém, o conjunto de ontologias DOHand explicita os relacionamentos através dos atributos das classes que representam os conceitos do mundo real (por exemplo, dispositivo *pertence a um* usuário).

s. *Quais são os fatores técnicos que levam os usuários a mudarem de pontos de acesso?*

Os fatores técnicos são os tratados pelo modelo Y-Comm (por ex., QoS da rede e perda do sinal).

t. *Quais são os fatores não-técnicos (incentivos) que motivam os usuários a mudarem de pontos de acesso?*

Os fatores não-técnicos são os tratados pelo modelo SOHand (por ex., preço, promoções, serviços locais).

u. *Quais informações de contexto agregam valor em plataformas 4G?*

As informações de contexto que agregam valor em plataformas 4G e foram mapeadas no conjunto de ontologias deste trabalho foram as informações para contexto do usuário, da rede, do ambiente, do dispositivo e da aplicação.

A valiação das ontologias é detalhada nas aplicações PrOHand (Gonçalves et al., 2009; Martimiano et al., 2008b, Vanni et al., 2007) e Footprint (Vanni et al., 2009) no Capítulo 7.

6.3 Considerações Finais

Foram apresentadas as atividades realizadas durante o desenvolvimento das ontologias para as plataformas 4G – Y-Comm, SOHand e Haggle. A metodologia Methontology guiou o desenvolvimento. As ontologias foram formalizadas e modeladas com o auxilio do editor Protégé e a linguagem OWL.

A escolha de três plataformas 4G com atuações específicas – provimento global, incentivos locais e comunicação *ad hoc* – possibilitaram uma visão mais abrangente do alcance das redes 4G e a integração de plataformas complementares, visando à inserção de vários cenários de comunicação e a criação de novos serviços.

O contato direto com especialistas em redes 4G, enriqueceu o processo de conceituação, o que reduziu a complexidade das fases seguintes. O próximo capítulo detalha o processo de avaliação das ontologias através de duas aplicações.

Capítulo 7 Processo de avaliação das Ontologias

7.1 Considerações Iniciais

Não existem modelos formais e padronizados para avaliar ontologias, porém independentemente dos métodos e das técnicas de avaliação utilizados, o importante é verificar se as ontologias desenvolvidas servem ao propósito ao qual elas foram desenvolvidas.

Muitos autores sugerem algumas técnicas de avaliação (Brewster et al., 2004; Corcho et al., 2004; Fernández et al., 1997; Gómez-Pérez, 1999; Gruninger e Fox, 1995; Uschold, 1996; Uschold e Gruninger, 1996; Uschold e King, 1995), mas os modelos diferem quanto ao que se deve avaliar. Segundo Gómez-Pérez (1999), diversos métodos, técnicas e ferramentas foram desenvolvidas para avaliar Sistemas Baseados em Conhecimento, nos quais a base de conhecimento é formalizada por meio de regras. Porém, como uma ontologia é formalizada por meio de conceitos organizados em taxonomias, instâncias, relacionamentos e axiomas utilizando linguagens de formalização, outros métodos podem ser utilizados.

Para avaliar as ontologias desenvolvidas, a abordagem escolhida foi desenvolver dois protótipos de serviços para redes 4G que especializaram partes das ontologias Haggle, Y-Comm, SOHand e DOHand, com o intuito de verificar se as ontologias puderam:

- reduzir o tempo de aprendizado sobre os conceitos e seus relacionamentos nos modelos para redes 4G;
- auxiliar no gerenciamento dinâmico e integrado do ambiente heterogêneo;
- facilitar a inserção de novos serviços nos modelos para essas plataformas.

Neste capítulo são apresentados os dois protótipos de serviços desenvolvidos para avaliação das ontologias deste trabalho.

7.2 Serviço de Reputação para rede 4G

A aplicação que especializou a ontologia DOHand, criou uma nova ontologia denominada PrOHand (*Privacy Ontology For Handover*) que define um vocabulário

comum para as comunidades de pesquisadores e agentes de software que precisam compartilhar informações sobre políticas de privacidade em redes 4G (Vanni et al., 2007).

As questões de reputação e privacidade que foram tratadas estão relacionadas a redes *ad hoc* e a redes infra-estruturadas.

- Em redes *ad hoc* – troca de informações ou o compartilhamento de recursos, como memória, processamento, e-mail e largura de banda.
- Em redes infra-estruturadas através de roteadores e *gateways*.

Em ambas as redes, os usuários podem controlar a comunicação e definir regras de privacidade para analisarem os riscos e a confiança que podem ter em seus parceiros de comunicação – outros usuários ou provedores de serviço.

A Figura 7-1 mostra as principais classes e relacionamentos da ontologia PrOHand, onde um **usuário** *oferece* **recurso** como **acesso às informações** e **serviço de conexão** a um **requisitante** (outro usuário). Um **requisitante** que *precisa* de um **recurso**, solicita e aguarda a **resposta** que é *enviada* do **usuário** para o **requisitante**. O **requisitante** *possui* um **nível de confiança**, cada **recurso** *está restrito* a certo **nível de confiança**. O **requisitante** *possui* uma **reputação indireta** e uma **reputação direta** que é *baseada* em uma **experiência direta** anterior entre o requisitante e o usuário. A indireta pode ser obtida por experiência direta entre o requisitante e outros usuários.

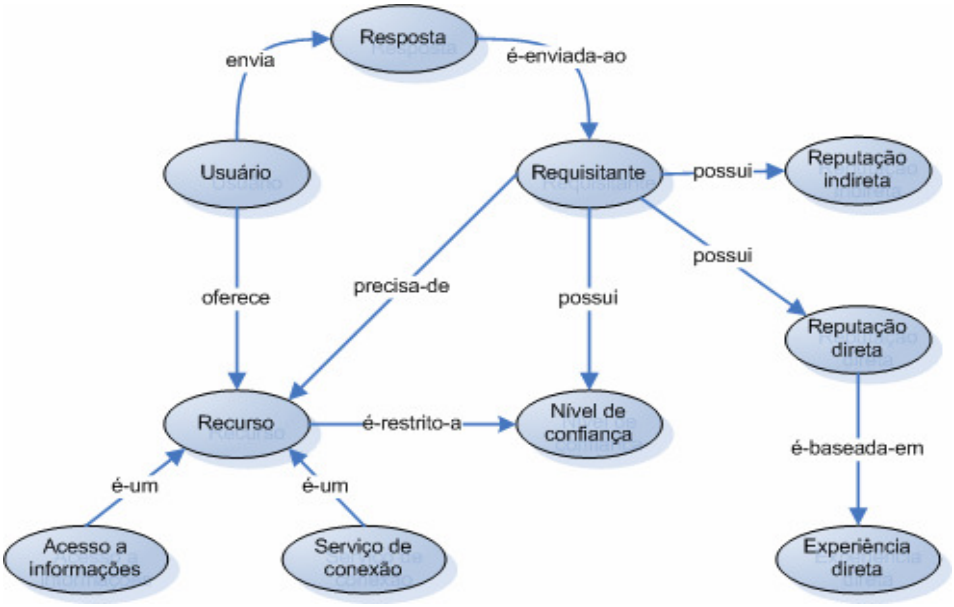


Figura 7-1 A ontologia PrOHand (adaptado de Gonçalves et al. 2008)

A Figura 7-2 ilustra um cenário de comunicação típico entre usuários com mecanismo de reputação. João (requisitante) solicita um recurso de Maria. Caso o nível de confiança requerido pelo recurso solicitado seja satisfeito pela análise da reputação direta e/ou a reputação indireta de João, Maria envia uma resposta afirmativa, caso contrário, envia uma resposta negativa. A reputação direta de João é calculada pelas experiências diretas anteriores entre João e Maria. A reputação indireta de João é calculada pelas experiências passadas entre João e outros usuários, que recomendam João, ou seja, enviam suas experiências diretas.

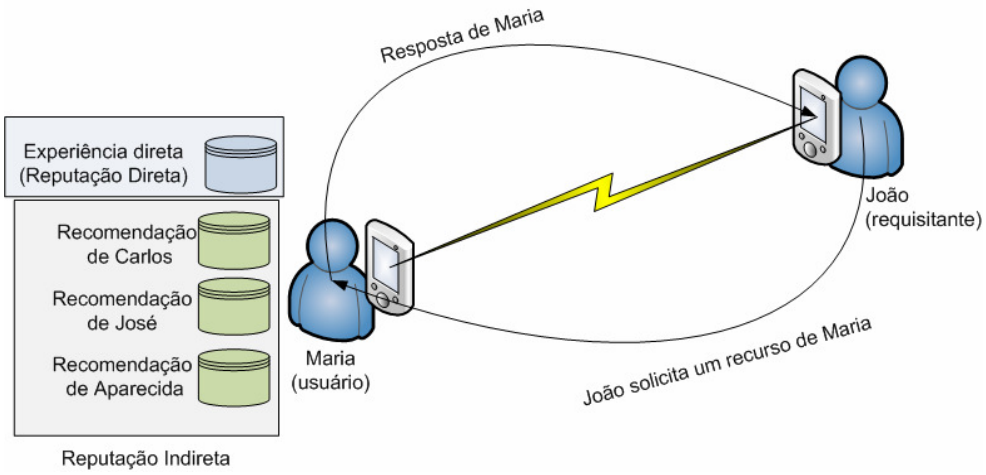


Figura 7-2 Comunicação entre usuários com mecanismo de reputação (adaptado de Gonçalves et al. 2008)

7.2.1 Protótipo de teste

Para a validação da ontologia PrOHand e do serviço de reputação, foi desenvolvido um protótipo conforme mostra a Figura 7-3.

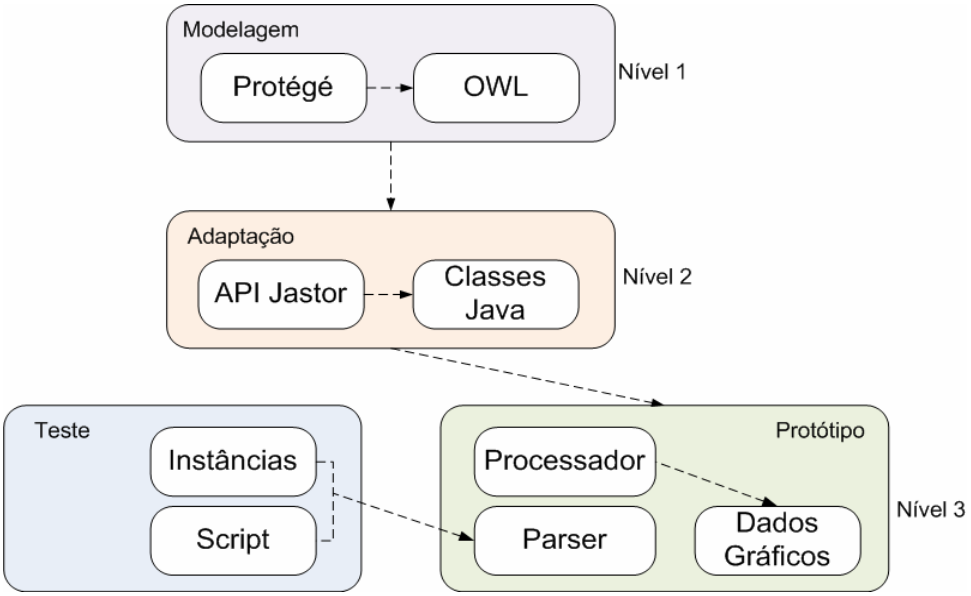


Figura 7-3 Níveis do processo de criação do protótipo (adaptado de Gonçalves et al. 2008)

O primeiro nível (nível 1) está relacionado à modelagem da ontologia utilizando a ferramenta Protégé (Seção 5.6.1) que apoiou a especialização da ontologia DOHand com os conceitos de reputação para o modelo Haggle. Como resultado do processo de modelagem, foi gerado um documento OWL (seção 5.5.2), ou seja, a ontologia PrOHand.

No nível de adaptação (nível 2), os conceitos modelados na ontologias (classes e relacionamentos) foram mapeados para classes Java através de gerador de código Java automático, denominado Jastor (seção 5.6.3). Basicamente, o gerador de código recebe o documento OWL como entrada e gera um conjunto de classes com atributos e relacionamento compatíveis com os definidos pela ontologia do documento OWL. Esse processo consiste na transição entre a modelagem e a prototipagem.

O terceiro nível (nível 3) é composto pelo processo prototipagem e pelo processo de teste. No processo de teste, há a definição dos dados de entrada do protótipo. Todas as entradas de dados são enviadas ao programa através de dois arquivos XML (*Extensible Markup Language*): `init.xml` e `script.xml`. O primeiro arquivo contém as definições sobre os usuários, como por exemplo, seus contatos e suas restrições sobre seus recursos. Quando o programa lê os dados, o conteúdo é extraído para instanciar as classes geradas durante a fase de adaptação. O segundo arquivo (*script.xml*) define uma sequência de comunicação a ser

"estabelecida". Cada interação contém participantes (usuário, requisitante), o recurso requisitado, e opcionalmente, os usuários que fazem as recomendações. Todo o conteúdo do arquivo é baseado nas definições do arquivo *init.xml*, isto porque o *parser* verifica a consistência entre os arquivos. Desta forma, vários cenários podem ser simulados através da edição do arquivo *script.xml*.

A Figura 7-4 mostra a seqüência do processo de teste: (1) o arquivo OWL é gerado com a ferramenta Protégé; (2) o gerador de código Jastor cria o código Java correspondente às definições do arquivo OWL; (3) o protótipo quando executado, solicita o código Java gerado pelo Jastor; (4) o código Java é enviado ao protótipo; (5) o arquivo *init.xml* com os dados de testes sobre usuários e reputações é carregado pelo protótipo; (6) o arquivo *script.xml* é também carregado pelo protótipo; (7) o resultado da simulação é gravado no arquivo *data.dat* que contém as informações para construção de um gráfico; (8) o resultado é mostrado no gráfico de variação da reputação do requisitante ao longo do tempo.

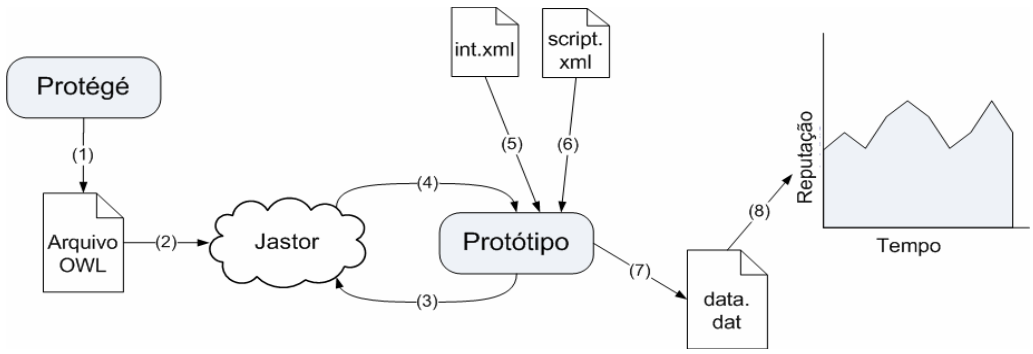


Figura 7-4 Sequência do processo de teste do protótipo (adaptado de Gonçalves et al. 2008)

7.2.2 Arquitetura para uso no dispositivo do usuário

A arquitetura proposta por Gonçalves et al. (2008) para um ambiente real de utilização do serviço de reputação é ilustrada na Figura 7-45. O ambiente de desenvolvimento das ontologias e de geração de código pode ficar em uma estação de trabalho integrada ao ambiente da plataforma, enquanto a aplicação do serviço de reputação é executada no dispositivo do usuário. Desta forma, o dispositivo não possui nenhum relacionamento com o documento OWL, ou seja, com a ontologia. As tarefas

de modelagem, manutenção e geração de código são efetuadas em uma estação de trabalho com o editor OWL (Protégé) e com o gerador de código (Jastor).

No dispositivo, a interação com a aplicação e o Jastor mantém-se a mesma. Com a diferença que as classes geradas na estação de trabalho devem ser agregadas ao código da aplicação no dispositivo do usuário. As instâncias das classes são definidas pelos usuários ou pelas experiências com requisitantes que são armazenadas em um banco de dados local. As requisições e respostas envolvem tráfego de dados XML entre usuários e requisitantes.

Basicamente, quando um requisitante solicita um recurso, a aplicação verificará no banco de dados local as experiências passadas com o requisitante e as recomendações de outros usuários sobre o requisitante, então serão feitos os cálculos necessários para verificar se o nível de confiança requisitado pelo recurso é atendido.

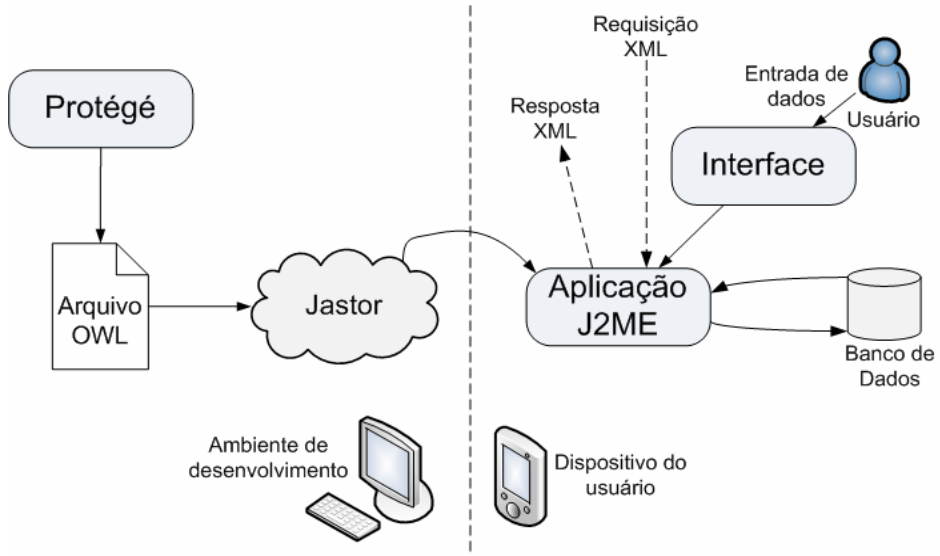


Figura 7-5 Arquitetura da aplicação em um ambiente real (adaptado de Gonçalves et al. 2008)

7.3 Serviço de "footprinting" para redes 4G

A aplicação que especializou a ontologia Y-Comm e a ontologia DOHand, mapeou os campos da aplicação Footprinting para redes sem fio no contexto de *handover* imperativo pró-ativo baseado em conhecimento (seção 0). O protótipo desenvolvido para validação da ontologia Y-Comm e DOHand oferece o serviço de mapeamento da topologia de redes em uma determinada rota e das experiências dos

usuários em seus acessos. Essas informações são apresentadas aos usuários de uma plataforma 4G antes que estes estejam na rota consultada. A técnica utilizada pelo Footprinting para obter as informações das redes, consiste de leituras efetuadas por usuários móveis durante a mobilidade dos mesmos em rotas mapeadas dentro do sistema. A primeira vez que um usuário utiliza uma rota, as informações são coletadas; nas próximas oportunidades são atualizadas com as novas leituras. Caso as informações de uma rota já existam, o usuário pode consultá-las antes de adentrar na rota, beneficiando-se das vantagens do *handover* pró-ativo. Uma vez que, outros usuários também podem possuir informações sobre a mesma rota e suas vizinhanças, essas informações podem ser compartilhadas diretamente entre usuários ou armazenadas em um servidor de informação que oferece esse serviço.

A Figura 7-6 mostra um usuário com um dispositivo movendo-se da esquerda para a direita dentro de uma rota que passa por três redes WiFi com identificações distintas (SSID). Um servidor Footprinting armazena leituras de usuários que visitaram as redes dentro da rota. O dispositivo contata o servidor Footprinting para verificar se existe alguma informação passada de suas próprias leituras relacionadas à sua vizinhança e às redes dentro da rota que ele está seguindo. Caso exista, o dispositivo carrega os dados localmente e verifica a topologia das redes, as condições oferecidas, os serviços disponíveis, as experiências dos usuários, entre outras informações que podem ser mapeadas. Caso contrário, solicita ao servidor Footprinting que envie leituras e experiências de outros usuários nas redes disponíveis. Desta forma, o dispositivo utiliza as informações e atualiza os dados no servidor com suas próprias leituras.

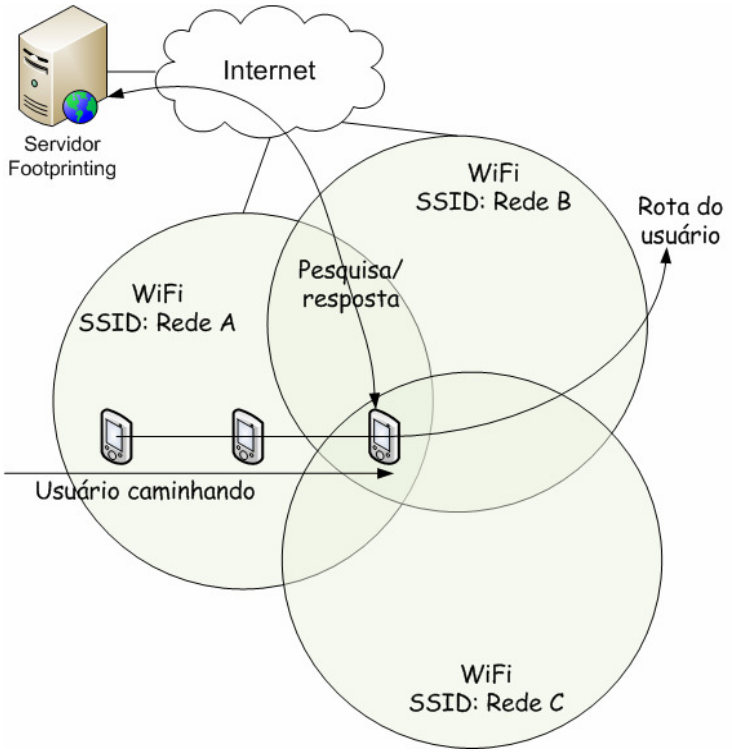


Figura 7-6 Cenário de utilização do Footprinting (adaptado de Vanni et al. 2009)

O serviço de Footprinting especializou os conceitos e relacionamentos da ontologia DOHand e da ontologia Y-Comm, ilustrados na Figura 7-7. Os conceitos Y-Comm referem-se à topologia enviada pela camada de Gerenciamento de Rede (seção 0) à camada de Gerenciamento de Política. Desta forma, ao invés do provedores fornecerem informações sobre as topologias e serviços de suas redes ao *broker* Y-Comm, são os próprios usuários que fornecem os dados de leitura a uma base de informações do servidor Footprinting – que pode oferecer o serviço ao *broker* Y-Comm.

Quanto aos conceitos da ontologia DOHand, a ontologia Footprinting manteve todos os conceitos úteis ao mapeamento das rotas, informações sobre as redes, os serviços oferecidos, e os relacionamentos do usuário (seção 0).

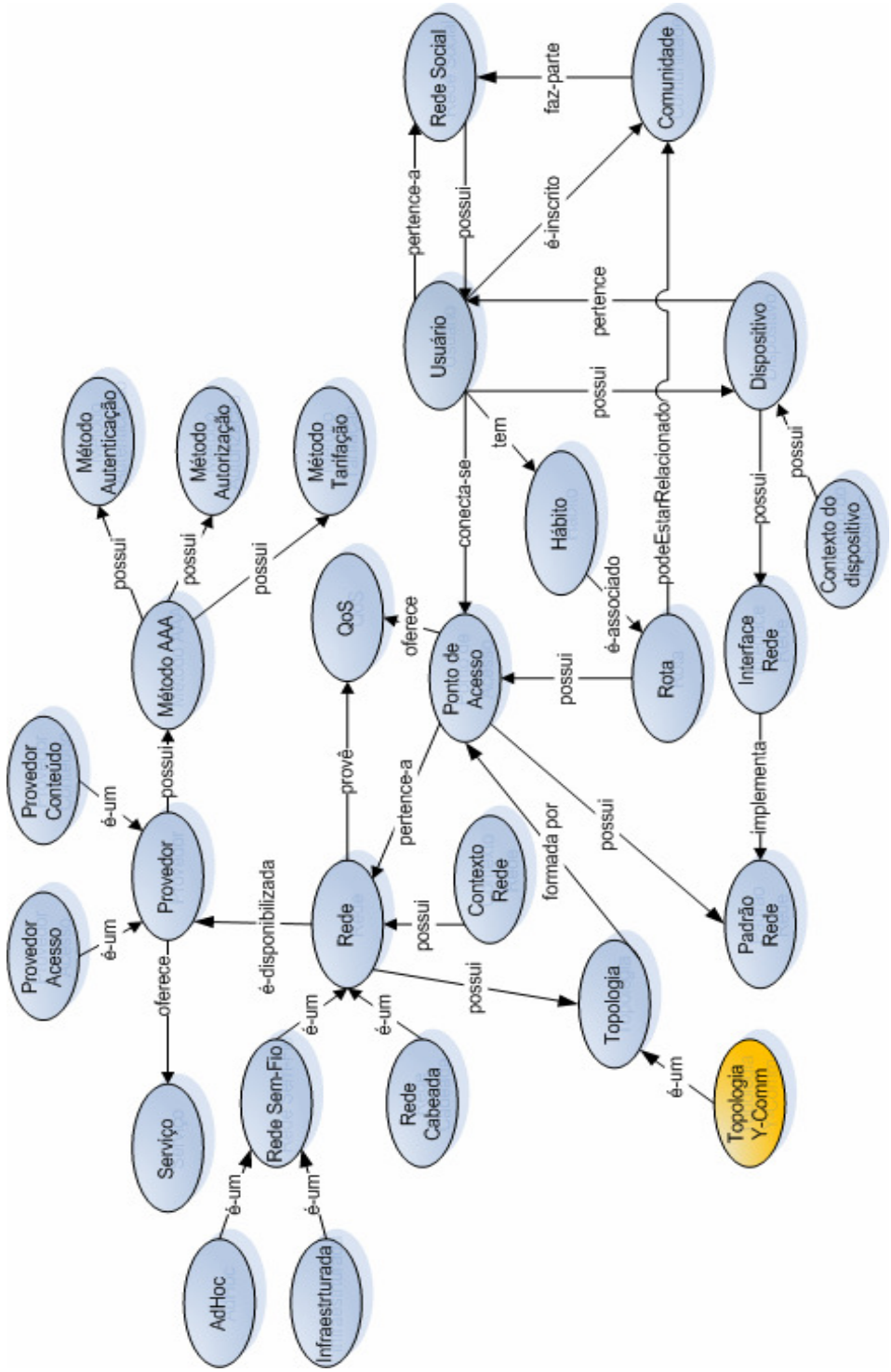


Figura 7-7 Ontologia Footprinting

7.3.1 Modelo de distribuição das ontologias no Footprinting

A Figura 7-8 mostra um modelo de distribuição das ontologias na utilização do serviço Footprinting com Y-Comm. O documento OWL da ontologia Y-Comm e as suas instâncias, relacionadas à topologia das redes, que estão armazenadas em RDF, ficam sob o domínio de gerenciamento da plataforma Y-Comm. O documento OWL da ontologia Footprinting e as suas instâncias, relacionadas a leituras de usuários, que estão armazenadas em RDF, ficam sob o domínio de gerenciamento do servidor Footprinting. As instâncias, relacionadas à leitura do usuário, que estão armazenadas em RDF, ficam sob o domínio de gerenciamento do dispositivo do usuário. A ontologia Footprinting mapeia seus conceitos com os conceitos da ontologia Y-Comm. Ddesta forma, as alterações na ontologia Y-Comm serão refletidas na ontologia Footprinting. Esse mapeamento é feito através dos atributos em OWL *equivalentClass* e *equivalentProperty*. A ontologia DOHand também é mapeada pela ontologia Footprinting, sua localização pode ser local ou em servidor de ontologias na Internet.

O dispositivo do usuário tem a opção de verificar as condições e a topologia das redes em uma rota de quatro formas: (a) em um banco de dados local com suas leituras passadas; (b) com outros usuários que permitem compartilhamento direto; (c) com o *Broker* Y-Comm que pode complementar as informações fornecidas pelo servidor Footprinting com informações de outras fontes; (d) com o servidor Footprinting através da Internet.

Toda vez que a ontologia Footprinting for modificada, o gerador de código enviará as alterações para aplicação Footprinting no dispositivo do usuário. Lembrando que as alterações na ontologia Y-Comm acarretam alterações na Footprinting, por causa dos mapeamentos de equivalência.

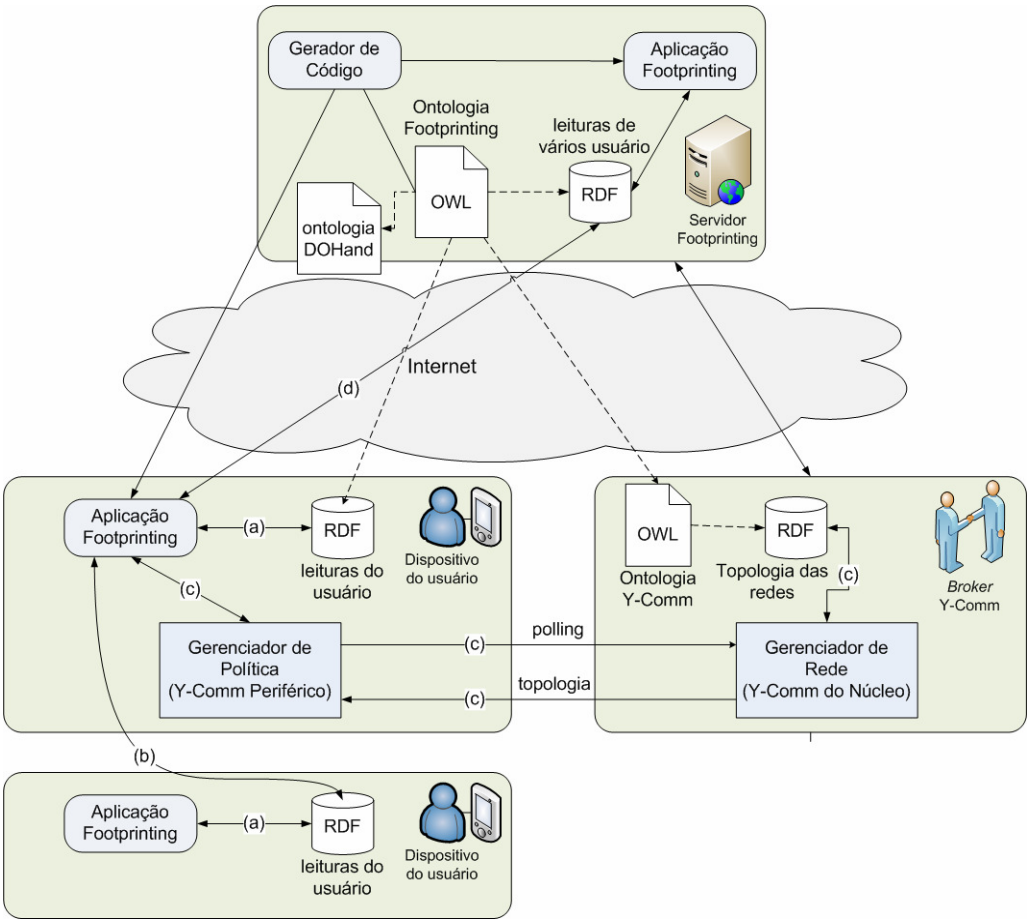


Figura 7-8 Distribuição e utilização das ontologias entre Footprinting e Y-Comm

As leituras do usuário são enviadas na forma de documentos XML, como mostra a Figura 7-9. O documento XML contém informações sobre a rede e o dispositivo do usuário. Por exemplo, é descrito: na linha 4 a data da leitura, nas linhas 6 e 7 a localização geográfica do usuário no momento da leitura, na linha 9 o tipo de rede, na linha 10 a tecnologia utilizada pela rede (ou ponto de acesso), na linha 12 o canal de comunicação, nas linhas 11, 13 e 14 informações sobre a qualidade do sinal de rádio.

```
01  <context>
02    <point>
03      <id>376</id>
04      <date>2008-05-26</date>
05      <iscurrent>t</iscurrent>
06      <latitude>-22.977666</latitude>
07      <longitude>-43.188828</longitude>
08      <mac>00:0E:2E:BF:E3:DE</mac>
09      <network>"WLAN"</network>
10      <standard>802.11g</standard>
11      <quality>83</quality>
12      <channel>6</channel>
13      <signalLevel>-51</signalLevel>
14      <noiseLevel>-85</noiseLevel>
15      <batery>100</batery>
16      <ip>192.168.0.15</ip>
17      <netmask>255.255.255.0</netmask>
18      <gateway>192.168.0.1</gateway>
19      <dns>143.107.231.12</dns>
20    </point>
21  </context>
```

Figura 7-9 Representação XML da transferência de informações

O framework Jena (seção 5.6.3) foi utilizado para gerar o código Java relacionado à ontologia Footprinting. A Figura 7-10 ilustra como os dados de pesquisa são obtidos de um servidor Java com o ambiente do Jena que inclui uma máquina de inferência baseada em regras. Por exemplo, é descrito: nas linhas 2 e 3 a leitura das coordenadas geográficas do usuário no momento da pesquisa, nas linhas 6 e 7 a localização das ontologias utilizadas pela aplicação, nas linhas de 11 a 14 a criação do modelo de dados do banco de dados, nas linhas 18 a 26 criam o modelo de inferência baseado em regras, e nas linhas 29 e 30 exibe o resultado da pesquisa.

```
01  // Get the geographical coordinates
02  String latitude  = request.getParameter("latitude");
03  String longitude = request.getParameter("longitude");
04
05  // Y-COMM ontology location
06  String ontologyFile  = "file:y-comm_ontology.owl";
07  String ontologyInstancesFile = "file:y-comm_ontology_instances.owl";
08
09  // Creates the models for the ontology and for the instances of the
10  // ontology from the database
11  OntModel ontologySchema = ModelFactory.createOntologyModel();
12  ontologySchema.read(ontologyFile);
13  OntModel ontologyData = ModelFactory.createOntologyModel();
14  ontologyData.read(ontologyInstancesFile);
15
16
17  // Creates a list with the rules
18  String ruleFile = "file:feedbackService.rules";
19  List rule = com.hp.hpl.jena.reasoner.rulesys.Rule.rulesFromURL(ruleFile);
20
21  // Creates a reasoner with the rules
22  Reasoner reasoner = new GenericRuleReasoner(rule);
23  reasoner = reasoner.bindSchema(ontologySchema);
24
25  // Creates a inference model
26  InfModel infModel = ModelFactory.createInfModel(reasoner, ontologyData);
27
28  // Retrieve and print all context data at the geographical point
29  PrintWriter out = response.getWriter();
30  printTopology(ontologyData, latitude, longitude, ontologyData, out);
```

Figura 7-10 Código da pesquisa sobre leituras em uma localização utilizando ontologias

A Figura 7-11 mostra uma tabela com os dados das leituras dos usuários com dispositivos móveis, cada linha da tabela contém informações sobre uma rede lida pelo dispositivo do usuário. As colunas latitude e longitude possuem as coordenadas geográficas necessárias para desenhar uma rota com a topologia das redes nas suas vizinhanças. A inserção de mais informações depende somente das fontes de dados às quais o dispositivo tem acesso, e da criação de novas classes e relacionamentos nas ontologias. Nesses testes, as informações foram coletadas do sistema operacional, da interface de rede ativa e de um sensor GPS do dispositivo móvel.

Q	Map	ID	IsCurrent?	Date	Time	Latitude	Longitude	MAC	Encryption	Network	Mode	Standard	Channel	Quality (%)	Signal (dbm)	Noise (dbm)	Details
	map	7674		09/08/2009	21:01:59	101.000000	101.000000	00:18:B9:F7:05:90		"GUEST"	Master	802.11g	1	48	-80	-12	more...
	map	7673		09/08/2009	21:01:59	101.000000	101.000000	00:18:B9:F7:01:80		"GUEST"	Master	802.11g	1	63	-69	-12	more...
	map	7672		09/08/2009	21:01:59	101.000000	101.000000	00:17:95:70:68:C0		"GUEST"	Master	802.11g	56	49	-79	-12	more...
	map	7671		09/08/2009	21:01:59	101.000000	101.000000	00:18:B9:F7:23:F0		"GUEST"	Master	802.11g	11	42	-84	-12	more...
	map	7670		09/08/2009	21:01:59	101.000000	101.000000	00:18:B9:F7:1C:00		"GUEST"	Master	802.11g	6	83	-51	-12	more...
	map	7669		09/08/2009	21:01:59	101.000000	101.000000	00:18:B9:F7:04:50		"WLAN"	Master	802.11g	6	42	-84	-12	more...
	map	7668		09/08/2009	21:01:59	101.000000	101.000000	00:18:B9:F7:19:00		"WLAN"	Master	802.11g	11	43	-83	-12	more...
	map	7667		09/08/2009	21:01:59	101.000000	101.000000	00:17:95:70:68:C0		"WLAN"	Master	802.11g	56	49	-79	-12	more...
	map	7666		09/08/2009	21:01:59	101.000000	101.000000	00:18:B9:F7:23:F0		"WLAN"	Master	802.11g	11	46	-81	-12	more...
	map	7665		09/08/2009	21:01:59	101.000000	101.000000	00:18:B9:F6:FA:70		"WLAN"	Master	802.11g	6	38	-86	-12	more...
	map	7664		09/08/2009	21:01:59	101.000000	101.000000	00:18:B9:F7:1C:00		"WLAN"	Master	802.11g	6	90	-50	-86	more...
	map	7663		09/08/2009	21:01:59	101.000000	101.000000	00:18:B9:F7:05:90		"LL4RMT"	Master	802.11g	1	46	-81	-12	more...
	map	7662		09/08/2009	21:01:59	101.000000	101.000000	00:18:B9:F7:01:80		"WLAN"	Master	802.11g	1	62	-70	-12	more...
	map	7661		09/08/2009	21:01:53	101.000000	101.000000	00:18:B9:F7:04:50		"WLAN"	Master	802.11g	6	42	-84	-12	more...
	map	7660		09/08/2009	21:01:53	101.000000	101.000000	00:18:B9:F7:19:00		"WLAN"	Master	802.11g	11	43	-83	-12	more...
	map	7659		09/08/2009	21:01:53	101.000000	101.000000	00:17:95:70:68:C0		"WLAN"	Master	802.11g	56	49	-79	-12	more...
	map	7658		09/08/2009	21:01:53	101.000000	101.000000	00:18:B9:F7:23:F0		"WLAN"	Master	802.11g	11	46	-81	-12	more...
	map	7657		09/08/2009	21:01:53	101.000000	101.000000	00:18:B9:F6:FA:70		"WLAN"	Master	802.11g	6	43	-83	-12	more...
	map	7656		09/08/2009	21:01:53	101.000000	101.000000	00:18:B9:F7:1C:00		"WLAN"	Master	802.11g	6	85	-51	-85	more...
	map	7655		09/08/2009	21:01:53	101.000000	101.000000	00:18:B9:F7:05:90		"LL4RMT"	Master	802.11g	1	49	-79	-12	more...

Figura 7-11 Tabela com os resultados das leituras dos usuários[90]

[90] http://wb074180.mobiel.utwente.nl:8080/WF/contextlist.jsp

7.4 Resultados sobre a avaliação da tecnologia ontologia em plataformas 4G

A especialização da ontologia DOHand para a ontologia PrOHand, do serviço de reputação, e para a ontologia Footprinting, do serviço de leitura de topologias de redes, juntamente com os protótipos de teste, demonstrou que o uso de ontologias em redes 4G pode:

- Reduzir o tempo de aprendizado sobre os conceitos e seus relacionamentos nessas redes;
- Auxiliar no gerenciamento dinâmico e integrado do ambiente heterogêneo;
- Facilitar a inserção de novos serviços nos modelos para essas plataformas.

Primeiro, quanto à redução no tempo de aprendizado, a ontologia DOHand forneceu, em forma de classes e relacionamentos, o conhecimento necessário para a especialização dos conceitos no desenvolvimento de um serviço de reputação e um serviço de mapeamento de topologia em redes 4G. Gonçalves et al. (2008) relatam que "PrOHand especializa o conceito de privacidade definido por DOHand (Vanni et al., 2006)". As ontologias reduzem o tempo de aprendizado porque minimizam as interpretações pessoais, uma vez que o conhecimento comum está formalizado e estruturado.

Segundo, os protótipos demonstraram como o dinamismo no gerenciamento de redes 4G pode ter sua complexidade atenuada por um vocabulário comum, formalizado e estruturado. Esse vocabulário na forma de ontologias OWL podem ter o suporte de várias ferramentas que auxiliam no desenvolvimento, manutenção e geração de código de forma simples e integrada.

Por último, a criação dos serviços para redes 4G demonstrou como as ontologias podem ser especializadas para integração de novos serviços a plataformas 4G, de forma integrada, ou seja, as manutenções são refletidas imediatamente nos sistemas que importam e mapeiam as ontologias.

7.5 Considerações Finais

O desenvolvimento dos dois protótipos de serviços para redes 4G representa um importante passo na implantação de redes 4G, pois as aplicações criadas mostraram a interoperabilidade entre diferentes ferramentas, e o armazenando em um formato único das informações gerenciadas. Além disto, o sistema mostra o potencial da ontologia em representar informações compartilhadas, gerando conhecimento para que usuários e provedores de serviços possam utilizar as redes de comunicação de maneira mais eficiente e eficaz.

A principal dificuldade na implementação de um sistema que cubra todos os conjuntos de ontologias desenvolvidas é a heterogeneidade das entidades envolvidas no acesso e provimento de serviços nas redes 4G. Porém, à medida que os modelos para as plataformas 4G forem amadurecendo, e as ontologias forem sendo especializadas, a implementação cobrirá, gradualmente, todos os aspectos da comunicação integrada. Desta forma, é importante desenvolver o processo de mapeamento e especialização das ontologias da forma como foi mostrada na avaliação das ontologias deste trabalho.

Capítulo 8 Contribuições e Trabalhos Futuros

8.1 Considerações Iniciais

Redes 4G lidam com um emaranhado de redes de comunicação sem fio de variadas tecnologias, diferentes domínios de gerenciamento e serviços heterogêneos. Diante de tantas diferenças, é necessário que haja a utilização de mecanismos de normalização de conceitos e de distribuição de conhecimento entre as entidades envolvidas no acesso e provimento de serviços. Esses mecanismos devem estar apoiados por uma tecnologia de fácil desenvolvimento e que contenha ferramentas que auxiliem na manutenção, na geração de código e na distribuição de versões entre os usuários e provedores de serviços nas plataformas 4G.

8.2 Principais contribuições

O Capítulo 3 descreve as características ditadas pelo ITU-T (ITU-T Recommendation, 2004) nas áreas de interesse de redes 4G. Dentre essas áreas, duas destacam-se nos modelos abordados (Capítulo 4) na tese: Gerenciamento de Rede (seção 3.3.5) e Mobilidade generalizada (seção 3.3.7). As ontologias desenvolvidas como tecnologia de apoio a uma comunicação homogênea, em um ambiente heterogêneo, entre entidades de acesso e de provimento de serviços, tratam dos seguintes pontos nesses modelos:

- inclusão e aplicação de novos conceitos arquiteturais e novas tecnologias para padronização de vocabulário;
- suporte à mudança de ponto de acesso (*handover*);
- suporte à associação a pontos de acesso que possua uma das tecnologias de redes complementares aceitas;
- abordagem consistente às evoluções das redes de telefonia móveis (sistemas 3G), aos sistemas de redes fixas e às tecnologias de redes de comunicação sem fio WLANs e WMANs;

A principal contribuição deste trabalho foi a normalização e estruturação de conhecimento (conceitos e seus relacionamentos) no domínio de redes 4G, apoiados pela tecnologia ontologia. A linguagem de desenvolvimento utilizada possui suporte de

ferramentas de desenvolvimento, armazenamento e pesquisa de dados, geração de código, e máquina de inferência.

Este trabalho também possui as seguintes contribuições:

1. Reúso de ontologias. A ontologia DOHand integrou parte da ontologia desenvolvida por Bulcão Neto (2006) para representar informações de usuários e dispositivos em ambientes ubíquos, e alguns conceitos formalizados pelas ontologias listadas na seção 5.7. Desta forma, mostrou-se a capacidade de se aproveitar conhecimento formalizado em outras ontologias e como as ontologias desenvolvidas podem ser reutilizadas por outras. As ontologias dos modelos Haggle, Y-Comm e SOHand podem ser integradas entre elas e com a ontologia DOHand para o desenvolvimento de uma plataforma 4G que trate os aspectos dos cenários de uso tratados por cada modelo.
2. Mapeamento de informações de gerenciamento de serviços gerados por provedores e usuários durante a comunicação nas redes integradas (Capítulo 7). Esse mapeamento foi demonstrado nos dois protótipos desenvolvidos e é um passo importante na tarefa de facilitar a interoperabilidade entre diferentes provedores de serviços, permitindo unificar as informações geradas por diferentes fontes em um único formato definido pela ontologia.
3. Especialização das ontologias (Capítulo 7), mostrando o seu potencial em criar novos relacionamentos dentro do conhecimento formalizado. O processo de especialização das ontologias consistiu em: (a) representar as informações sobre os serviços criados dentro das ontologias através de mapeamentos; (b) montar um ambiente de desenvolvimento integrado; (c) simular cenários de uso; (d) propor modelos de utilização e distribuição das ontologias em uma plataforma real.
4. Elaboração de um modelo para integração do modelo Y-Comm com o modelo SOHand (seção 4.3.2.2).
5. Elaboração de um modelo para integração do modelo Y-Comm com os modelos SOHand e Haggle (seção 4.3.3.3).

Essas contribuições resultaram em quatro trabalhos publicados em eventos internacionais e nacionais, três apresentações, e um artigo submetido a um *journal* internacional, a saber:

- ***Management of Ubiquitous Access for Better User Experience*** (Vanni et al., 2007). Esse artigo descreve a ontologia DOHand e a ontologia PrOHand no gerenciamento de informações compartilhadas em redes 4G. Publicado nos anais do I Workshop on Pervasive and Ubiquitous Computing, 2007, Gramado, RS, Brasil.
- ***Management of Services in Ubiquitous Environments: using ontologies for dealing with quality-of-service*** (Vanni e Moreira, 2006). Esse artigo descreve os benefícios do uso de ontologias na negociação entre usuário e provedores de acesso em ambientes ubíquos com tecnologias de redes heterogêneas, com o intuito de assinar acordos de nível de serviço sob demanda. Publicado nos anais do Seventh Annual Postgraduate Symposium, The Convergence of Telecommunications, Networking & Broadcasting, 2006, Liverpool, Inglaterra.
- **Gerenciamento de serviços em ambientes ubíquos: uso de semântica para controle de políticas em mudanças de contexto** (Vanni e Moreira, 2006). Esse artigo descreve a proposta inicial do trabalho, apresentando a tecnologia ontologia como mecanismo de normalização de conceitos em redes 4G. Publicado nos anais do Webmedia, Workshop de Teses e Dissertações, 2006, Natal, RN, Brasil.
- ***DOHand: An ontology to support building services to exploit handover information in mobile heterogeneous networks*** (Vanni et al., 2006). Esse artigo descreve o uso da ontologia DOHand em ambientes ubíquos com tecnologias de redes heterogêneas. Publicado nos anais do 5th International Information and Telecommunication Technologies Symposium - I2TS, 2006, Cuiabá, MT, Brazil.
- ***An Ontology for Managing Vertical Handover in the Y-Comm Framework*** (Vanni et al., 2009).Esse artigo descreve a ontologia Y-Comm e sua especialização no serviço de mapeamento de leituras (Footprinting) de usuários em rotas percorridas. Submetido no Mobile Computing and Communications Review (MC2R Journal) - Regular Submission.
- Apresentação no Seventh Annual Postgraduate Symposium, 2006, Liverpool, Inglaterra.

- Apresentação no Webmedia, Workshop de Teses e Dissertações, 2006, Natal, RN, Brasil.
- Apresentação ao grupo de pesquisa envolvido no modelo Haggle e no modelo Y-Comm. Computer Lab, Universidade de Cambridge, UK, 2007.

8.3 Trabalhos Futuros

Este trabalho de doutorado representa um ponto importante na discussão do uso de ontologias para representar e correlacionar informações sobre conceitos em redes 4G, e para facilitar a interoperabilidade entre diferentes entidades de acesso e provimento de serviços em tais redes.

Desta forma, propostas para trabalhos futuros são:

1. Especializar as ontologias para representar outros conceitos relacionados a redes 4G. Por exemplo, acompanhar a evolução dos modelos Y-Comm, SOHand e Haggle, e da ontologia DOHand. A autora desta tese faz parte das três iniciativas abaixo:
    a. O grupo de desenvolvimento do modelo Y-Comm criou um fórum de discussão yRFC (*Y-Comm Requests for Comments*)[91] para sugestões na evolução do projeto.
    b. O grupo de desenvolvimento do modelo Haggle possui uma lista de discussão[92] para comunicação entre os envolvidos nas atividades do projeto.
    c. O grupo de desenvolvimento SOHand possui uma lista de discussão[93] para comunicação entre os envolvidos nas atividades do projeto. A ontologia DOHand faz parte dos trabalhos desse grupo também.
2. Melhorar o processo de avaliação das ontologias, incluindo o desenvolvimento de módulos dos modelos com base nas ontologias.

---

[91] http://www.mdx.ac.uk/cs/research/groups/docs/yrfc1_addressing.pdf

[92] HAGGLE@iit.cnr.it

[93] sohand@googlegroups.com

3. Criar regras em linguagem SWRL (*Semantic Web Rule Language*)[94] que é uma combinação de linguagem OWL com RuleML[95], para auxiliar na inferência de novos conceitos e relacionamentos.

[94] http://www.w3.org/Submission/SWRL/

[95] http://ruleml.org/

Referências Bibliográficas

3GPP TS 23.060 v6.5.0, 3rd Generation partnership project: technical specification group service and system aspects; General Packet Radio Service (GPRS); Service description; State 2 (Release 6), June, 2004. http://www.3gpp.org/Specifications

3GPP2 S.R0087-0 v1.0, 3GPP2-WLAN Interworking, State 1 Requirements, July, 2004.

Abowd, G. D. and Mynatt, E. D. *Charting past, present, and future research in ubiquitous computing*. ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI) 2000, p. 29-58. DOI= http://doi.acm.org/10.1145/344949.344988

Alazeib, A. *An Ontology for Generic Wireless Authentication*. Tese apresentadada em Hamburg: Hamburg University of Technology, 2005, 124 páginas. Disponível em: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.88.9296&rep=rep1&type=url&i=0

Antoniou, G.; Harmelen, F. *A Semantic Web Primer*. Massachusettts Institute of Technology (MIT) Press, 2004.

Augusto, M. E. Acessos sob demanda em NGN: avaliação da interface entre última milha e núcleo e os impactos das trocas dinâmicas de provedores. Monografia de Qualificação de Doutorado, ICMC, USP, São Carlos, 2009.

Aust, S., Proetel, D., Fikouras, N., A., Görg, C., Pampu, C. *Policy based mobilie IP handoff decision (POLIMAND) using generic link layer information*. In Proceedings of the Fifth IFIP-TC6 International Conference. Mobile and Wireless Communications Networks, p. 201-204, 2003. DOI= http://doi.acm.org/10.1142/9789812791146_0043

Bandara, A.; Lupu, E.; Russo, A.; Dulay, N.; Sloman, M.; Flegkas, P.; Charalambides, M.; Pavlou, G. *Policy refinement for DiffServ quality of service management.* In Proceedings of 9th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, May 2005, p. 469 – 482.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/INM.2005.1440817

Bansal, S.; Lasebae, A.; Comley, R. *Freedom to choose along-with freedom of mobility*. In Proceedings of International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications, 2004.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/ICTTA.2004.1307687

Bechhofer, S.; Harmelen, F. v.; Hendler, J.; Horrocks, I.; McGuinness, D. L.; Patel-Schneider, P. F.; Stein, L. A. *OWL web ontology language reference*. 2004. Disponível em: http://www.w3.org/TR/owl-ref/.

Berners-Lee, T.; Fielding, R.; Irvine, U. C.; Masinter, L. *Uniform Resource Identifiers*: *Generic syntax*- rfc2396, 1998. Disponível em: http://www.ietf.org/rfc/rfc2396.txt

Berners-Lee, T.; Hendler, J.; Lassila, O. The Semantic Web. Scientific American, v. 284, n. 5, p. 34–43, 2001.

Bézivin, J. and Lemesle, R.. *Ontology-Based Layered Semantics for Precise OA&D Modeling*. In Proceedings of the Workshops on Object-Oriented Technology, Vol. 1357, p. 151–154, 1998. ISBN:3-540-64039-8

Bray, T.; Paoli, J., Sperberg-McQueen, C. M. ; Maler, E.; Yergeau, F W3C Recommendation, 2008. *Extensible Markup Language* (XML) 1.0 (Fifth Edition) 26 November 2008. Disponível em: http://www.w3.org/TR/2008/REC-xml-20081126/

Brewster, C.; Alani, H.; Dasmahapatra, S.; Wilks, Y. *Data driven ontology evaluation*. In: Proceedings of the International Conference on Language Resources and Evaluation, 2004.

Brickley, D., Miller, L. *FOAF vocabulary specification*. 2007.
Disponível em: http://xmlns.com/foaf/0.1/

Bulcao Neto, R. F. *Um processo de software e um modelo ontológico para apoio ao desenvolvimento de aplicações sensíveis a contexto.* Tese de doutorado. Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – ICMC-USP, 2006. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/55/55134/tde-01032007-163908/

Bulcao Neto, R. F.; Pimentel, M.G. P., *Toward a domain-independent semantic model for context-aware computing*. In Proceedings of Third Latin American Web Congress, LA-WEB, 2005. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/LAWEB.2005.43

Chabeb, Y.; Tata, S.; Belaid, D., *Toward an Integrated Ontology for Web Services.* In Proceedings of International Conference on Internet and Web Applications and Services, 2009. ICIW '09. p.462-467, 2009.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/ICIW.2009.74

Chandrasekaran, B., Josephson, J. R., and Benjamins, V. R. 1999. *What Are Ontologies, and Why Do We Need Them?*.IEEE Intelligent Systems (Jan. 1999), p. 20-26. DOI= http://dx.doi.org/10.1109/5254.747902

Charalambides, M., Flegkas, P., Pavlou, G., Bandara, A. K., Lupu, E. C., Russo, A., Dulay, N., Sloman, M., and Rubio-Loyola, J. *Policy Conflict Analysis for Quality of Service Management*. In Proceedings of the Sixth IEEE International Workshop on Policies For Distributed Systems and Networks (June 06 - 08, 2005). POLICY. IEEE Computer Society, Washington, DC, 99-108.
DOI= http://dx.doi.org/10.1109/POLICY.2005.23

Chen, H., Finin, T., Joshi, T. A. *An ontology for context-aware pervasive computing environments*. The Knowledge Engineering Review Vol. 18, Issue 3 (Sep. 2003), 197-207. DOI= http://dx.doi.org/DOI:10.1017/S0269888904000025

Chen, H., Perich, F., Finin, T., Joshi, T. A. Joshi, *SOUPA: Standard Ontology for Ubiquitous and Pervasive Applications.* Presented at First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services (MobiQuitous'04), 2004.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/MOBIQ.2004.133173

CMMI for Services, Version 1.2, SEI – Software Engineering Institute, Carnegie Mellon, US. Technical Report CMU/SEI-2009-TR-001, ESC-TR-2009-001. February, 2009. Disponível em: http://www.sei.cmu.edu/pub/documents/09.reports/09tr001.pdf

Cookley, T. Wireless communication standards: a study of IEEE 802.11, 802.15, and 802.16. Publicado por IEEE Standards Association, 2004. ISBN 073814066X, 9780738140667, 360 páginas.

Corcho, O.; Gómez-Pérez, A.; González-Cabero, R.; Suarez-Figueroa, M. C. Odeval. *A tool for evaluating RDF(S), DAML+OIL and OWL concept taxonomies*. In: Proceedings of the First IFIP Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations (AIAI04), 2004, p. 369–382. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/10.1007/b96521

Cordeiro, C.D.M., Abhyankar, S., Toshiwal, R., Agrawal, D.P.*A Novel Architecture and Coexistence Method to Provide Global Access to/from Bluetooth WPANs by IEEE 802.11 WLANs*. In Proceedings of the IEEE International Conference on Performance, Computing, and Communications, 9-11 April 2003 p. 23 - 30. ISSN: 1097-2641, ISBN: 0-7803-7893-8.

Das, A.; Wu, W.; McGuinness, D. L. *Industrial strength ontology management.* In Proceedings of the First Semantic Semantic Web Working Symposium, SWWS-01, 2001.

Dharmaraja, S.; Jindal, V.; Varshney, U., *Reliability and Survivability Analysis for UMTS Networks: An Analytical Approach*. IEEE Transactions on Network and Service Management, vol.5, no.3, p.132-142, September 2008.
DOI=http://dx.doi.org/DOI:10.1109/TNSM.2009.031101

Diehl, A., Bleimann, U., Fuhrmann, W., Reynolds, P., Rupp, S. *Service Architecture for an Object-Oriented Next Generation Profile Register*. Presented at 5th International Network Conference, Samos, 2005a.
Disponível em: http://www.linecity.de/downloads/INC2005_Diehl.pdf

Diehl, A., Banet, F.-J, Siegmund, G., Rupp, S., Fuhmann, W. *A Flexible Object-Oriented Data Model for a Centralized Subscriber Profile Database*. Presented at 14th Information Society Technologies Mobile & Wireless Communications Summit, Dresden, Germany, 2005b.
Disponível em: http://www.eurasip.org/Proceedings/Ext/IST05/papers/103.pdf

Eulália, L. A. S.; Moreira, E. S.; H., R.; Carvalho, A. *Using ontologies for intelligent information retrieval in an e-commerce application case study*. In: Proceedings of the Fourth European Conference on Product and Process Modeling in the Building and Related Industries, 2002, p. 277–284.

Fallside, D. C.; Walmsley, P. *XML schema part 0: Primer 2nd edition*. W3C Recommendation, 2004. Disponível em: http://www.w3.org/TR/xmlschema-0/

Fano, A. and Gershman, A. *The future of business services in the age of ubiquitous computing*. Communications of ACM Vol. 45, Issue 12 (Dec. 2002), 83-87. DOI= http://doi.acm.org/10.1145/585597.585620

Fensel, D.; Horrocks, I.; van Harmelen, F.; Decker, S.; Erdmann, M.; Klein, M. C. A. *OIL in a nutshell*. In Proceedings of the Twelveth European Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management - EKAW00, Lecture Notes In Computer Science, ISBN:3-540-41119-4, 2000, p. 1–16.

Fernandez, M.; Gomez-Perez, A.; Juristo, N. *METHONTOLOGY: from Ontological Art towards Ontological Engineering*, Proceedings of the AAAI97 Spring Symposium Series on Ontological Engineering, 1997, p. 33-40. Disponível em:
http://www.aaai.org/Papers/Symposia/Spring/1997/SS-97-06/SS97-06-005.pdf

Fitzek, F. H. P.; Katz, M. D. *Cooperation in Wireless Networks: Principles and Applications - Real Egoistic Behavior is to Cooperate*. 1st ed. 2006. 2nd printing, 2007, LII, 641 p., Hardcover . ISBN 1-4020-4710-X.

Fitzek, F. H. P.; Katz, M. D. *Cognitive Wireless Networks. Concepts, Methodologies and Visions Inspiring the Age of Enlightenment of Wireless Comunications*. Published by Springer. ISBN 978-1-4020-5978-0 (HB), ISBN 978-1-4020-5979-7 (e-book), 2007.

Fonseca, F.; Egenhofer, M.; Borges, K. *Ontologias e interoperabilidade semântica entre SIGs*. In: Anais do Segundo Workshop Brasileiro em Geoinformática - GeoInfo2000, 2000, p. 45–52.
Disponível em: http://www.tecgraf.puc-rio.br/geoinfo2000/anais/011.pdf

Foukalas, F.Gazis, V. Alonistioti, N. *Cross-layer design proposals for wireless mobile networks: a survey and taxonomy*. In IEEE Communications Surveys & Tutorials, First Quarter 2008, Vol. 10 , Issue: 1, p. 70 – 85, 2008
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/COMST.2008.4483671

Gennari, J.; Musen, M. A.; Fergerson, R. W.; Grosso, W. E.; Crubezy, M.; Eriksson, H.; Noy, N. F.; Tu, S. W. *The evolution of Protégé: An environment for knowledge-based systems development.* International Journal of Human-Computer Studies, v. 58, n. 1, p. 89–123, 2003. DOI= http://dx.doi.org/10.1016/S1071-5819(02)00127-1

Gómez-Pérez, A. *Evaluation of taxonomic knowledge in ontologies and knowledge bases*. In: Banff Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (KAW99), 1999, p. 6.1.1–6.1.18.

Gómez-Pérez, A.; Corcho, O. *Ontology languages for the Semantic Web.* IEEE Intelligent Systems, v. 17, n. 1, p. 54–60, 2002.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/5254.988453

Gonçalves, M. R. P., Moreira, E. S., Martimiano, L. A. F. *Trust and Privacy: Informal Ways to Assess Risk on Opportunistic Exchanges*. In International Journal of Computer

Science and Applications, Special Issue on Networking Mobile Virtual Knowledge, vol VI, issue II, 2009. ISSN 0972-9038.
Disponível em: http://www.tmrfindia.org/ijcsa/v6i25.pdf

Gruninger, M.; Fox, M. S. *Methodology for design and evaluation of ontologies*. In: Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI98) - Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, 1995.

Gupta, V. IEEE 802.21 Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Media Independent Handover Services, Draft P802.21/D05.00, April, 2007.

Harmelen, F. v.; Patel-Schneider, P. F.; Horrocks, I. *Reference description of the DAML+OIL ontology markup language*. Disponível em:
http://www.daml.org/2001/03/reference

Herrera, J. A. F.; Martins Jr, J.; Moreira, E. S. *A model for data manipulation and ontology navegation in Deepsia Project*. In: Proceedings of the First Seminar on Advanced Research in Electronic Business (EBR02), 2002.

Horridge, M.; Knublauch, H.; Rector, A.; Stevens, R.; Wroe, C. *A practical guide to building OWL ontologies using the Protégé-OWL plugin and co-ode tools*. Relatório Técnico, University of Manchester, 2004.

Howarth M.P., Boucadair M., Flegkas P., Wang N., Pavlou G., Morand P., Coadic T., Griffinc, D., Asgarid, A. and Georgatsos P. *End-to-end quality of service provisioning through inter-provider traffic engineering.* Computer Communications, Vol. 29, Issue 6, p. 683-702, 2005. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.comcom.2005.07.022

Huang, Z.; Xuan, W.; Chen, X. *Spatial temporal geographic ontology.* In Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007. p.4627-4630, 23-28 July 2007
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/IGARSS.2007.4423889

Hui, P., Chaintreau, A., Gass, R., Scott, J., Crowcroft, J., and Diot, C. *Pocket Switched Networking: Challenges, Feasibility and Implementation Issues*. In Proceedings of the Second IFIP Workshop on Autonomic Communications 2005, Athens, Greece, October 2005a.

Hui, P., Chaintreau, A., Gass, R., Scott, J., Crowcroft, J., and Diot, C. *Pocket Switched Networks and the Consequences of Human Mobility in Conference Environments.* In Proceedings of the SIGCOMM 2005 Workshop on Delay Tolerant Networking, Philadelphia, USA, August 2005b.

Hui, P., Leguay, J., Crowcroft, J., Scott, J., Friedmani, T., Conan, V. *Osmosis in Pocket Switched Networks*. In Proceedings of First International Conference on Communications and Networking in China. ChinaCom '06, p. 1-6, Beijing, ISBN: 1-4244-0463-0, 2006. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/CHINACOM.2006.344671

Hui, P. People are the Network: Experimental Design and Evaluation of Soocial-based Forwarding Algorithms. PhD dissertation at University of Cambridge, UK, March 2008 Disponível em: http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-713.html

IEEE 802 IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture. Published by The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 3 Park Avenue, New York, NY 10016-5997, USA. 2001. Disponível em: http://standards.ieee.org/getieee802/download/802-2001.pdf

IEEE 802.11. IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, 2007. Documento disponível em http://standards.ieee.org/getieee802/802.11.html

IEEE 802.21 Tutorial, 2006. Disponível em: http://www.ieee802.org/21/Tutorials/802%2021-IEEE-Tutorial.ppt

IEEE 802.21, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks — Part 21: Media Independent Handover Services, 2008. Disponível em: http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.21-2008.pdf

ITU-T Recommendation, 2004 - General overview of NGN Series Y: Global Information Infrastructure, Internet Protocol, aspects and Next Generation Networks. Next Generation Networks – Frameworks and functional architecture models. Disponível em: http://www.ictregulationtoolkit.org/en/Document.3243.pdf

Johnson, D., Perkins, C., Arkko, J. RFC 3775 - Mobility Support in IPv6, IETF, June 2004. Disponível em: http://tools.ietf.org/html/rfc3775

Kagal, L.; Korolev, V.; Avancha, S.; Joshi, A.; Finin, T.; Yesha, Y. *Centaurus: An Infrastructure for Service Management in Ubiquitous Computing Environments.* In: ACM Wireless Networks Journal, vol. 8, pp. 619-635, 2002.

Kent, R. E. *Conceptual knowledge markup language: The central core*. In Proceedings of the Twelfth Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management (KAW99), 1999. Disponível em: http://www.pms.ifi.lmu.de/mitarbeiter/ohlbach/Ontology/CKML/CKML.pdf

Karp, R.; Chaudhri, V.; Thomere, J. XOL: *An XML-based ontology exchange Language*. Disponível em: http://www.ai.sri.com/~pkarp/xol

Kesteren, A.; Stachowiak, M. *HTML Design Principles.* W3C Working Draft, 2007. Disponível em: http://www.w3.org/TR/html-design-principles/

Khai N. Truong, Gregory D. Abowd, and Jason A. Brotherton. *Who, What, When, Where, How: Design Issues of Capture Access Applications.* Presented at International Conference on Ubiquitous Computing, p. 209-224, 2001. ISBN 978-3-540-42614-1, DOI: http://dx.doi.org/10.1007/3-540-45427-6_17

Laasonen, K., Raento, M., and Toivonen, H. *Adaptive on-device location recognition*. Lecture Notes in Computer Science, LNCS 3001, p. 288–304, 2004.
DOI: http://dx.doi.org/10.1007/b96922

Lacy, L. W. *OWL: Representing Information Using the Web Ontology Language.* Trafford Publishing, 2005. ISBN 1-4120-3448-5

Lera, I.; Juiz, C.; Puigjaner, R. *Performance-related Ontologies for Ubiquitous Intelligence based on Semantic Web Applications.* In Proceedings of Advanced Information Networking and Applications, 2006. AINA 2006. 20th International Conference on Volume 1, April 2006, p.675 – 682. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/AINA.2006.270

Li, B., Qin, Y., Low, C. P., Gwee, C. L. *A Survey on Mobile WiMAX*, IEEE Communications Magazine, vol. 5, Issue 12, p. 70-75, 2007.
DOI= http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2007.4395368

Li-yuan, L.,Wen-an, Z., Jun-de, S. *The Research of Quality of Experience Evaluation Method in Pervasive Computing Environment.* In 1st International Symposium on Pervasive Computing and Applications, 2006, p.178 - 182
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/SPCA.2006.297564

Lim, W., Kim, D., Suh, Y., and Won, J. 2009. Implementation and performance study of IEEE 802.21 in integrated IEEE 802.11/802.16e networks. Comput. Commun. 32, 1 (Jan. 2009), 134-143. DOI= http://dx.doi.org/10.1016/j.comcom.2008.09.034

Lindgren, A., Hui, P. *The Quest for a Killer App for Opportunistic and Delay Tolerant Networks* (Invited Paper). In Proceedings of ACM MobiCom Workshop on Challenged Networks (CHANTS 2009) Beijing China, September, 2009.
Disponível em: http://www.cl.cam.ac.uk/~ph315/publications/chants25it-lindgren.pdf

López, M. F., Gómez-Pérez, A., Sierra, J. P., and Sierra, A. P. 1999. *Building a Chemical Ontology Using Methontology and the Ontology Design Environment*. IEEE Intelligent Systems 14, 1 (Jan. 1999), 37-46.
DOI= http://dx.doi.org/10.1109/5254.747904

Lopez de Vergara, J.E. Villagra, V.A. Asensio, J.I. Berrocal, J. *Semantic Management: advantages of using an ontology- based management information meta-model*," ISSN: 0890-8044, DOI= http://dx.doi.org/10.1109/MNET.2003.1201472. Presented at HP Openview University Association, 2003.

Luke, S.; Heflin, J. Proposed specification, SHOE project, shoe 1.01.
Disponível em: http://www.cs.umd.edu/projects/plus/SHOE/

Maedche, A.; Staab, S. *Measuring similarity between ontologies*. In: Proceeding of the Thirteenth European Conference on Knowledge Acquisition and Management (EKAW02), 2002, p. 251–263.

Manner, J. and Kojo, M.; "Mobility Related Terminology"; IETF RFC 3753; June 2004.
Disponível em: http://rfc.dotsrc.org/rfc/rfc3753.html

Mapp, G. E., Cottingham, D. N., Shaikh, F., Vidales, P., Patanapongpibul, L., Balioisian, J., Crowcroft, J. *An Architectural Framework for Heterogeneous Networking.* In Proceedings of International Conference on Wireless Information Networks and Systems (WINSYS), August 2006.

Mapp, G. E., Shaikh, F., Cottingham, D., Crowcroft, J., and Baliosian, J. 2007. *Y-Comm: a global architecture for heterogeneous networking*. In Proceedings of the 3rd international Conference on Wireless internet (Austin, Texas, October 22 - 24, 2007). ICST (Institute for Computer Sciences Social-Informatics and Telecommunications Engineering), ICST, Brussels, Belgium, 1-5, 2007.

Mapp, G. E., Shaikh, F., Aiash, M., Vanni, R. M. P., Augusto, M. E., Moreira, E. S. *Exploring Efficient Imperative Handover Mechanisms for Heterogeneous Wireless*

Networks. In Proceedings of International Symposium on Emerging Ubiquitous and Pervasive Systems (EUPS-09) August 2009.

Martimiano, L. A. F. *Sobre a estruturação de informação em sistemas de segurança computacional: o uso de ontologia.* Tese de doutorado. Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – ICMC-USP, 2006. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/55/55134/tde-02102006-091853/

Martimiano, L. A. F. ; Moreira, E. S.; Brandão, A. J. S. ; Bernardes, M. C. . *Ontologies for Information Security Management and Governance*. Information Management & Computer Security Journal, v. 16, p. 150-165, 2008.
DOI: http://dx.doi.org/10.1108/09685220810879627

Martimiano, L. A. F.; Goncalves, M. R. P.; Moreira, E., S. *An ontology for privacy policy management in ubiquitous environments.* In Proceedings of Network Operations and Management Symposium, NOMS 2008. IEEE , p. 947–950, ISBN:978-1-4244-2066-7. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/NOMS.2008.4575254

Martin, H, *Possible Ontologies: How Reality Constrains the Development of Relevant Ontologies.* IEEE Internet Computing, vol.11, no.1, pp.90-96, Jan.-Feb. 2007
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/MIC.2007.20

Menzies, T. *Cost benefits of ontologies*. Intelligence, Vol. 10 , Issue 3, 1999, p. 26-32. DOI= http://doi.acm.org/10.1145/318964.318969

McCann, P. RFC 4260 - Mobile IPv6 Fast Handovers for 802.11 Networks, IETF, November 2005. Disponível em: http://tools.ietf.org/html/rfc4260

McDermott-Wells, P., *What is Bluetooth?* and *Bluetooth scatternet models.* Potentials, IEEE, vol.23, no.5, pp. 33-39, 2005. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/MP.2005.13689143 and DOI: http://dx.doi.org/10.1109/MP.2005.1368914

McGuinness, D. L.; Harmelen, F. v. *OWL web ontology language – overview*, 2004 Disponível em: http://www.w3.org/TR/owl-features/.

McNair, J., Zhu, F. *Vertical handoffs in fourth-generation multinetwork environments*. In IEEE Wireless Communications, vol.11, no.3, p. 8-15, June 2004.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/MWC.2004.1308935

Mobile WiMAX – Part II: A Comparative Analysis, 2006. Disponível em: www.wimaxforum.org/technology/downloads/Mobile_WiMAX_Part2_Comparative_Analysis.pdf

Moreira, E.D.S.; Cottingham, D.N.; Crowcroft, J.; Pan Hui; Mapp, G.E.; Vanni, R.M.P., *Exploiting contextual handover information for versatile services in NGN environments*. In Proceedings of 2nd International Conference on Digital Information Management, 2007. ICDIM '07., vol.1, no., pp.506-512, 28-31 Oct. 2007
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/ICDIM.2007.4444273

Muratore, F. UMTS Mobile Communications for the Future. Publicado por John Wiley & Sons, Ltda, 2001. ISBN 0-471-49829-7

Mussabbir, Q. B. and Yao, W. 2006. *Optimized FMIPv6 handover using IEEE802.21 MIH services*. In Proceedings of First ACM/IEEE international Workshop on Mobility in the Evolving internet Architecture (San Francisco, California, December 01 - 01, 2006). MobiArch '06. ACM, New York, NY, 43-48.
DOI= http://doi.acm.org/10.1145/1186699.1186713

Ning, H.; Shihan, D. *Structure-Based Ontology Evaluation.* Proceedings of IEEE International Conference on e-Business Engineering, 2006. ICEBE '06., p.132-137, Oct. 2006. DOI: http://doi.acm.org/10.1109/ICEBE.2006.97

Noy, N. F.; McGuinness, D. L. *Ontology development 101: A guide to create your first ontology*. Relatório Técnico, Knowledge Systems Laboratory - Stanford University, TR KSL-01-05, 2001. Disponível em:

http://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101.pdf

Olifer, N., Olifer, V. Computer Networks: Principles, Technologies, and Protocols for Network Design. Publicado por John Wiley & Sons, 2006. ISBN 0470869828, 9780470869826, 973 páginas.

Patanapongpibul, L., Mapp, G., and Hopper, A. 2006. *An end-system approach to mobility management for 4G networks and its application to thin-client computing*. SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review Vol. 10, Issue 3 (Jul. 2006), 13-33. DOI= http://doi.acm.org/10.1145/1148094.1148097

Pawar, P., Beijnum, B., Wac, K., Maret, P., Halteren, A., Hermens, H. *Context-Aware Middleware Architecture for Vertical Handover Support to Multi-homed Nomadic Mobile Services.* In Proceddings of 23rd ACM Symposium on Applied Computing (ACM SAC 2008), p. 481-488. Middleware Engineering Track, Brazil, March 2008.
DOI: http://doi.acm.org/10.1145/1363686.1363806

Pease, A., Niles, I. *IEEE standard upper ontology: A progress report*. Knowledge Engineering Review, Special Issue on Ontologies and Agents, 2002, p.65–70.
DOI: http://dx.doi.org/10.1017/S0269888902000395

Pelusi, L.; Passarella, A.; Conti, M., *Opportunistic networking: data forwarding in disconnected mobile ad hoc networks*, In IEEE Communications Magazine, vol.44, no.11, pp.134-141, November 2006.
DOI= http://doi.acm.org/ 10.1109/MCOM.2006.248176

Peterson, L. L., Davie, B. S. Computer networks: a systems approach, 4a. edição, Publicado por Morgan Kaufmann, 2007, ISBN 0123740134, 9780123740137806, 806 páginas.

Pongpaibool, P. and Kim, H. S. 2004. *Providing end-to-end service level agreements across multiple ISP networks*. Computer. Networks, Vol. 46, Issue 1 (Sep. 2004), p. 3-18. DOI= http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2004.03.022

Porzel, R.; Malaka, R. *A task-based approach for ontology evaluation*. In: Proceedings of the Workshop on Ontology Learning and Population (ECAI2004) - Sixteenth European Conference on Artificial Intelligence, 2004, p. 9–16.

Protégé 4 User Documentation, 2009. Disponível em: http://protegewiki.stanford.edu/index.php/Protege4UserDocs

Prud'hommeaux, E.; Seaborne, A. *SPARQL - query language for RDF*. 2008. Disponível em: http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/.

Randell, D., Cui, Z., Cohn, A. *A Spatial Logic based on Regions and Connection.* Presented at KR'92. Principles of Knowledge Representation and Reasoning: Proceedings of the Third International Conference, 1992.

Rodrigues, N. V. *Prototyping Haggle over Bluetooth and SMS in .NET.* Master Thesis presented to the Computer Lab of the University of Cambridge at the United Kigdom, Telecommunication Engineering University of Oviedo, Spain, 2007

Rodriguez, P., Chakravorty, R., Chesterfield, J., Pratt, I., Banerjee, S. MAR: A Commuter Router Infrastructure for the Mobile Internet. In Proceedings of the ACM Second Mobile Systems, Applications and Services Conferences (ACM Mobisys), 2004.

Saltzer, J. H., Reed, D. P., and Clark, D. D. *End-to-end arguments in system design*. In ACM Transactions on Computer Systems (TOCS), Vol. 2, Issue 4 (Nov. 1984), 277-288. DOI= http://doi.acm.org/10.1145/357401.357402

Saltzer, J. H., Reed, D. P., and Clark, D. D. (1984). End-toend arguments in system design. ACMTrans. Comput. Syst., 2(4):277–288

Sarraipa, J.; Silva, J.; Jardim-Goncalves, R.; Monteiro, A., *MENTOR — A methodology for enterprise reference ontology development.* In Proceedings of 4th International IEEE Conference Intelligent Systems, 2008. IS '08., vol.1, no., p.6-32-6-40, 2008.
DOI= http://doi.acm.org/10.1109/IS.2008.4670436

Seaborne, A. *RDQL - a query language for RDF*, 2004
Disponível em: http://www.w3.org/Submission/RDQL/

Scott, J., Crowcroft, J., Hui, P. Diot, C. *Haggle: a Networking Architecture Designed Around Mobile Users.* Invited paper at The Third Annual IFIP Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS 2006), Les Menuires, France, p. 78-86, IFIP, 2006.

Shaikh, F.; Mapp, G.; Lasebae, A. *Proactive Policy Management using TBVH Mechanism in Heterogeneous Networks.* In Proceedings of International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies – NGMAST, 2007, p.151 – 157. DOI:http://dx.doi.org/10.1109/NGMAST.2007.4343414

Sim, S., Han, S., Park, J., Lee, S. *Seamless IP mobility support for flat architecture mobile WiMAX networks*. In IEEE Communications Magazine, vol.47, no.6, p.142-148, June 2009.

Sirin, E., Parsia, B., Grau, B. C., Kalyanpur, A., and Katz, Y. 2007. *Pellet: Apractical OWL-DL reasoner*. Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, Vol. 5 , Issue 2, 2007, p. 51-53.
DOI= http://dx.doi.org/10.1016/j.websem.2007.03.004

Soh, W-S., Kim, H.S., *Dynamic bandwidth reservation in cellular networks using road topology based mobility predictions*. In Proceedings of Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies , INFOCOMP, vol.4, p. 2766-2777, 2004

Souza Jr, H. C., de C. Moura, A. M., and Cavalcanti, M. C. 2008. *Ontologias emergentes: uma nova abordagem para integração de ontologias*. In Proceedings of the 23rd Brazilian Symposium on Databases, p. 165-179, 2008.

Stojanovic, L., Schneider, J., Maedche, A., Libischer, S., Studer, R., Lumpp, T., Abecker, A., Breiter, G., and Dinger, J. *The role of ontologies in autonomic computing systems.* IBM System Journal Vol.43, Issue 3 (Jul. 2004), p. 598-616.

Su, J., Scott, J., Hui, P., Upton, E. Lim, M. H., Diot, C., Crowcroft, J., Goel, A., Lara, E. *Haggle: Clean-slate networking for mobile devices*, Relatório Técnico da Tese de Doutorado. UCAM-CL-TR-680, University of Cambridge (ISSN 1476-2986), November 2006.
Disponível em: www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-680.pdf

Su, J., Scott, J., Hui, P., Crowcroft, J., de Lara, E., Diot, C., Goel, A., Lim, M., Upton, E., 2007. *Haggle: Seamless networking for mobile applications.* In Proceedings of the Ninth International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2007), p.391-408., Innsbruck, Austria, October 2007
DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-74853-3_23

Suri, P.R., Rani, S., *Bluetooth security - Need to increase the efficiency in pairing.* In Proceedings of IEEE Southeastcon, p.607-609, 2008.
DOI=http://dx.doi.org/10.1109/SECON.2008.4494365

Taaghol, P.; Salkintzis, A.; Iyer, J., Seamless integration of mobile WiMAX in 3GPP networks. IEEE Communications Magazine, vol.46, no.10, p.74-85, October 2008.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2008.4644122

Tanenbaum, A. S. Computer networks. Edição: 4. Publicado por Prentice Hall PTR, 2002. ISBN 0130661023, 9780130661029, 891 páginas.

Tempich, C.; Volz, R. *Towards a benchmark for semantic web reasoners - an analysis*

of the daml ontology library. In: Proceedings of Evaluation of Ontology-based Tools (EON03) at Second International Semantic Web Conference (ISWC03), 2003, p. 4–15. Disponível em: http://sunsite.informatik.rwth-aachen.de/Publications/CEUR-WS/Vol-87/EON2003_Tempich.pdf

Uschold, M. *Building ontologies: Towards a unified methodology*. In: Proceeding of the Sixteenth Annual Conference of the British Computer Society Specialist Group on Expert Systems, 1996.

Uschold, M.; Gruninger, M. *Ontologies: principles, methods and applications*. Knowledge Engineering Review, v. 11, n. 2, p. 93–155, 1996. Disponível em: http://www.aiai.ed.ac.uk/~oplan/documents/1996/96-ker-intro-ontologies.pdf

Uschold, M.; King, M. *Towards a methodology for building ontologies*. In: Proceedings of the Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing - IJCAI95, 1995.

Valle, J. A., *YAIHON (Yet Another Implementation of Haggle Over .NET)*. Master Thesis presented to the Computer Lab of the University of Cambridge at the United Kigdom, Telecommunication Engineering University of Oviedo, Spain, 2007

Vanni, R. M. P., Mapp, G. E.; Lopes, R. R., Moreira, E. S. *An Ontology for Managing Vertical Handover in the Y-Comm Framework*. Submitted to Mobile Computing and Communications Review (MC2R Journal) - Regular Submission. Under review August, 2009.

Vanni, R. M. P. ; Martimiano, L. A. F. ; Moreira, E. S. *Management of Ubiquitous Access for Better User Experience*. In: I Workshop on Pervasive and Ubiquitous Computing, 2007, Gramado - RS. Proceedings of I Workshop on Pervasive and Ubiquitous Computing, 2007. p. 1-10.

Vanni, R. M. P. ; Moreira, E. S. . Gerenciamento de serviços em ambientes ubíquos: uso de semântica para controle de políticas em mudanças de contexto. In: Webmedia, 2006, Natal, RN - Brasil. Webmedia, Workshop de Teses e Dissertações, 2006. v. 1. p. 83-87.

Vanni, R. M. P. ; Moreira, E. S. *Management of Services in Ubiquitous Environments: using ontologies for dealing with quality-of-service*. In: The 6th Annual Postgraduate Symposium on the Convergence of Telecommunications, Networking & Broadcasting, 2006, Liverpool - Inglaterra., 2006. v. 1. p. 196-200.

Vanni, R. M. P. ; Moreira, E. S. ; Goularte, R. *DOHand: An ontology to support building services to exploit handover information in mobile heterogeneous networks*. In: I2TS - International Information and Telecommunication Technologies Symposium, 2006, Cuiabá. v. 1. p. 105-112.

Vidales, P., Chakravorty, R., Policroniades, C. *PROTON: A Policy-based Solution for Future 4G devices.* In Proceedings of 5th International Workshop on Policies for Distributed Systems and Networks (IEEE POLICY), 2004. Disponível em: http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/publications/public/pav25/vidalesp_PROTON_revised.pdf

Vidales, P. *Seamless Mobility in 4G Systems*. Relatório Técnico da Tese de Doutorado.. UCAM-CL-TR-656, University of Cambridge (ISSN 1476-2986), November 2005. Disponível em: www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-656.pdf

Vieira, R.; Santos, D. A.; Silva, D. M.; Santana, M. R. Web semântica: ontologias, lógica de descriçãao e inferência. Tutorial do XI Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web (WEBMEDIA05), 2005. Disponível em: http://www.inf.pucrs.br/~rvieira/cursos/webmidia.pdf

W3C Recommendation, 1999. RDF Framework.
Disponível em: http://www.w3.org/TR/1999/REC-rdf-syntax-19990222/

W3C Recommendation, 2004. OWL Language.
Disponível em: http://www.w3.org/TR/owl-features/

Welty, C. and Guarino, N. *Supporting ontological analysis of taxonomic relationships.* Data & Knowledge Engineering, Vol. 39, Issue 1, p. 51 – 74, 2001

DOI= http://dx.doi.org/10.1016/S0169-023X(01)00030-1

WiMAX Forum, Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation, 2006 Disponível em: www.wimaxforum.org/technology/downloads/Mobile_WiMAX_Part1_Overview_and_Performance.pdf

Zhao, S.; Wongthongtham, P.; Dillon, T.; Chang, E.;*Mapping relational data model to OWL ontology: Knowledge conceptualization in OWL.* In Proceedings of 2nd IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies, 2008, p. 497 - 501 DOI: http://dx.doi.org/10.1109/DEST.2008.4635182

Zvonar, Z., Jung, P., Kammerlander, K.. GSM: Evolution Towards 3rd Generation Systems. Publicado por Kluwer Academic Publishers, 1999. ISBN 0-7923-8351-6

Yokoyama, R. S. ; Kimura, B. Y. L. ; Lopes, R. R. F. ; Moreira, E. S. . *Uma abordagem ciente de contexto para handovers orientados a serviços em ambientes NGN*. In Proceedings of International Information and Telecommunication Technologies Symposium, 2008, Foz do Iguaçu. I2TS - International Information and Telecommunication Technologies Symposium, 2008.

Yokoyama, R. S. *Gerenciamento de handovers em next generation networks com agregação de contexto*. Monografia de Mestrado. Universidade de São Paulo (USP), Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC), São Carlos, 2009. Disponível em: http://www.teses.usp.br/

Apêndice A. Vocabulário de Conceitos utilizados nas ontologias

Ambiente (Environment): it is the information about the whereabout of a user. That is, the user is aware about all information is possible to sense from the environment.

Aplicação (Application): A functional implementation realized as software running in one or spread over several interplaying hardware entities.

Comunidade (Community): In Social networks, users can belong to communities. Community is a set of users grouped by subject.

Contexto (Context): a piece of information that can be used to characterize the situation of an entity in an interaction; or any information that can be used to characterize the situation of an entity.

Contexto da Aplicação (Application Context): application context should include all information that might represent the situation of a given application and influence handover decision. An explicitly identified set of application service elements, related options and any other necessary information for the interworking of application entries on an application association.

Contexto da Rede (Network Context): network context should include all information that might represent the situation of a given network and influence handover decision.

Contexto do ambiente (Environment Context): environment context should include all information that might represent the situation of a given whereabouts and influence handover decision.

Contexto do Usuário (User Context): user context should include all information that might represent the situation of a given user and influence handover decision.

Dispositivo do usuário (MN - Mobile Node): A node that can change its point of attachment from one access point to another.

Hábito do usuário (User Habit): Habits are the activities the user does frequently.

Interface de Rede (Network Interface): The means of realizing the wireless electromagnetic interconnection between an mobile station (or mobile earth station) and an base station (or space station). The radio interface specification consists of a statement of the form and content of the signals transmitted from stations. The specification contains the definition of functional characteristics, common radio (physical) interconnection characteristics, signal characteristics, and other characteristics, as appropriate.

Método AAA (AAA Method): A method to provide IP-based authentication, authorization, and accounting. The AAA maintains security associations with peer AAA entities to support intra- and/or inter-administrative domain.

Método de Autenticação (Authentication Method): The Authentication Method provides Authentication of users.

Método de Autorização (Authorization Method): The Authorization Method of AAA provides authorization of service requests based on subscriber/user profiles, and network policy.

Método de Tarifação (Accounting Method): The Accounting Function gathers accounting data concerning the services used by individual subscribers/users.

Padrão de Rede (Network Standard): a technology considered by an authority or by general consent as a basis of comparison; an approved model.

Ponto de Acesso (Access Point or Base Station): The common name for all the radio equipment located at one and the same place used for serving one or several cells. Point at which the end-user obtains the communications service.

Preferência do usuário (User preference): the user selecting of some network entities over another.

Privacidade (Privacy): The right of individuals to control or influence what information related to them may be collected and stored and by whom and to whom that information may be disclosed. National laws may apply in matters dealing with the protection of privacy.

Provedor (Service Provider): An entity that has the overall responsibility for the provision of a service or a set of services to the users and for negotiating network capabilities associated with the service(s) it provides.

Provedor de Acesso (Access Provider): An entity that provides radio access to a communication network in order that some or all of the services provided by that network may be available to users.

Provedor de Conteúdo (Content Provider): A entity that provides program material and related information of any variety through the network.

QoS - Qualidade de Serviço (Quality-of-Service): The collective effect of service performance which determines the degree of satisfaction of a user of the service. The quality of service is characterized by the combined aspects of service support performance, service operability performance, serveability performance, service security performance and other factors specific to each service. The term “quality of service” is not used to express a degree of excellence in a comparative sense nor is it used in a quantitative sense for technical evaluations. In these cases a qualifying adjective (modifier) should be used.

Recurso de Hardware (Hardware Resource): A hardware which is uniquely identified in the mobile node, which can be used to contribute to the realization of a service. Examples: CPU, memory, GPS sensor.

Rede (Network): A system of interconnected entities providing data interchange between points or from a point to multiple points. A set of nodes and links that provides connections between two or more defined points to facilitate telecommunication between them.

Rede sem-fio (Wireless Network): Network where the radio connection from user to core network is done by the air medium.

Rede Social (Social Network): Social network is a system focuses on building online communities of people who share interests and/or activities, or who are interested in exploring the interests and activities of others. Most social network services are web and provide a variety of ways for users to interact, such as e-mail and IM services.

Reputação do usuário (User Reputation): Reputation is the opinion of some users or systems about someone based on some behavior selected by the group of users or by the system.

Rota (Route): a route is a set of georeferred points where the user goes.

Serviço (Service): the provisioning of something using the network. For example, access to the Internet, content, video, chat.

Topologia (Topology): Topology is defined as the principle arrangement, ordering or relationships amongst objects and components used in describing a network, without regard to their actual occurrence in any real network. ITU-T Rec. G.805 defines topological component as an architectural component, used to describe the transport network in terms of the topological relationships between sets of points within the same layer network.

Usuário (User): A human being, organization, or telecommunications system that accesses the network in order to communicate via the services provided by the network

Apêndice B. Código OWL das ontologias desenvolvidas

Ontologia Haggle

```
<?xml version="1.0"?>

<!DOCTYPE rdf:RDF [
         <!ENTITY owl "http://www.w3.org/2002/07/owl#" >
         <!ENTITY xsd "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" >
         <!ENTITY owl2xml "http://www.w3.org/2006/12/owl2-xml#" >
         <!ENTITY rdfs "http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" >
         <!ENTITY rdf "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" >
         <!ENTITY Haggle-Name
"http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/NameManager/Haggle-
Name.owl#" >
          <!ENTITY Haggle-Connectivity
"http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Hagg
le-Connectivity.owl#" >
      ]>



      <rdf:RDF
xmlns="http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManage
r/Haggle-Connectivity.owl#"

xml:base="http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityMan
ager/Haggle-Connectivity.owl"
           xmlns:owl2xml="http://www.w3.org/2006/12/owl2-xml#"
           xmlns:Haggle-
Name="http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/NameManager/Haggle-
Name.owl#"
           xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
           xmlns:Haggle-
Connectivity="http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/Connectivit
yManager/Haggle-Connectivity.owl#"
           xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
           xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
           xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#">
          <owl:Ontology rdf:about="">
```

```
              <owl:imports
rdf:resource="http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/NameManager
/Haggle-Name.owl"/>
          </owl:Ontology>




          <!--

///////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
          //
          // Object Properties
          //

///////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
           -->




          <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#bandwidth -->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#bandwidth">
              <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Bandwidth"/>
              <rdfs:domain rdf:resource="#Connection"/>
          </owl:ObjectProperty>



          <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#cost -->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#cost">
              <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
```

```
            <rdfs:domain rdf:resource="#Connection"/>
            <rdfs:range rdf:resource="#Cost"/>
        </owl:ObjectProperty>



        <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#energy -->

        <owl:ObjectProperty rdf:about="#energy">
            <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
            <rdfs:domain rdf:resource="#Connection"/>
            <rdfs:range rdf:resource="#Energy"/>
        </owl:ObjectProperty>



        <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#latency -->

        <owl:ObjectProperty rdf:about="#latency">
            <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
            <rdfs:domain rdf:resource="#Connection"/>
            <rdfs:range rdf:resource="#Latency"/>
        </owl:ObjectProperty>



        <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#task -->

        <owl:ObjectProperty rdf:about="#task">
            <rdfs:domain rdf:resource="#Connection"/>
            <rdfs:range rdf:resource="#Task"/>
        </owl:ObjectProperty>
```

```
          <!--

///////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
          //
          // Classes
          //

///////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
           -->




          <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#Bandwidth -->

          <owl:Class rdf:about="#Bandwidth"/>



          <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#Bluetooth -->

          <owl:Class rdf:about="#Bluetooth">
              <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Wireless"/>
          </owl:Class>



          <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#Connection -->

          <owl:Class rdf:about="#Connection">
              <rdfs:comment rdf:datatype="&xsd;string"
```

```
                  >base class which defines a connection between two
nodes. This abstracts the nature of a connection between two nodes
since this may contain connectivity-specific
information.</rdfs:comment>
              <rdfs:comment rdf:datatype="&xsd;string"
                  >used by haggle.connectivity</rdfs:comment>
              <rdfs:comment rdf:datatype="&xsd;string"
                  >used by haggle.manager</rdfs:comment>
          </owl:Class>




          <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#Cost -->

          <owl:Class rdf:about="#Cost"/>




          <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#Energy -->

          <owl:Class rdf:about="#Energy"/>




          <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#Ethernet -->

          <owl:Class rdf:about="#Ethernet">
              <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Wired"/>
          </owl:Class>
```

```
        <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#Internet -->

        <owl:Class rdf:about="#Internet">
            <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Neighbour"/>
        </owl:Class>



        <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#Latency -->

        <owl:Class rdf:about="#Latency"/>



        <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#Neighbour -->

        <owl:Class rdf:about="#Neighbour">
            <rdfs:subClassOf rdf:resource="&Haggle-Name;NO"/>
        </owl:Class>



        <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#Non-Internet -->

        <owl:Class rdf:about="#Non-Internet">
            <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Neighbour"/>
        </owl:Class>
```

```
        <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#Task -->

        <owl:Class rdf:about="#Task"/>



        <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#Time -->

        <owl:Class rdf:about="#Time"/>



        <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#WiFi -->

        <owl:Class rdf:about="#WiFi">
            <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Wireless"/>
        </owl:Class>



        <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#WiMax -->

        <owl:Class rdf:about="#WiMax">
            <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Wireless"/>
        </owl:Class>



        <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#Wired -->
```

```
          <owl:Class rdf:about="#Wired">
              <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Connection"/>
          </owl:Class>




          <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/ConnectivityManager/Haggl
e-Connectivity.owl#Wireless -->

          <owl:Class rdf:about="#Wireless">
              <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Connection"/>
          </owl:Class>




          <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/Haggle/NameManager/Haggle-
Name.owl#NO -->

          <owl:Class rdf:about="&Haggle-Name;NO"/>



          <!-- http://www.w3.org/2002/07/owl#Thing -->

          <owl:Class rdf:about="&owl;Thing">
              <rdfs:comment rdf:datatype="&xsd;string"
                  >Packages that use haggle.connectivity:
      - haggle.connectivity
      - haggle.forwarding
      - haggle.manager: This package contains the interface
definitions for Haggle&#39;s managers.
      - haggle.protocol
      - haggle.resource</rdfs:comment>
          </owl:Class>
</rdf:RDF>
```

Ontologia User

```
<?xml version="1.0" ?>
  <!DOCTYPE rdf:RDF (View Source for full doctype...)>
- <rdf:RDF xmlns="http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/User.owl#"
xmlns:protege="http://protege.stanford.edu/plugins/owl/protege#"
xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
xmlns:soupa="http://pervasive.semanticweb.org/ont/2004/06/"
xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
xmlns:foaf="http://xmlns.com/foaf/0.1#"
xml:base="http://www.icmc.usp.br/~rporto/DOHand/User.owl">
- <owl:Ontology rdf:about="">
  <rdfs:comment
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">This ontology
imports the SOUPA Person Ontology</rdfs:comment>
  <owl:versionInfo
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">TODO: Complete
the attributes for Ubiquitous Networking</owl:versionInfo>
  <rdfs:label
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">DOHand User
Ontology</rdfs:label>
  </owl:Ontology>
- <owl:Class rdf:ID="Person">
  <rdfs:label>Person</rdfs:label>
- <rdfs:subClassOf>
- <owl:Restriction>
  <owl:onProperty rdf:resource="#gender" />
  <owl:cardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</
owl:cardinality>
  </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
- <rdfs:subClassOf>
- <owl:Restriction>
  <owl:onProperty rdf:resource="#birthDate" />
  <owl:cardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</
owl:cardinality>
  </owl:Restriction>
```

```
  </rdfs:subClassOf>
- <owl:equivalentClass>
  <owl:Class rdf:about="http://xmlns.com/foaf/0.1#Person" />
  </owl:equivalentClass>
  </owl:Class>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="name">
  <rdfs:label>name</rdfs:label>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Person" />
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="firstName">
  <rdfs:label>firstName</rdfs:label>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Person" />
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="middleName">
  <rdfs:label>middleName</rdfs:label>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Person" />
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="lastName">
  <rdfs:label>lastName</rdfs:label>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Person" />
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="givenName">
  <rdfs:label>givenName</rdfs:label>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Person" />
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  <owl:equivalentProperty rdf:resource="#firstName" />
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="familyName">
  <rdfs:label>familyName</rdfs:label>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Person" />
```

```
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  <owl:equivalentProperty rdf:resource="#lastName" />
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:Class rdf:ID="Gender">
  <rdfs:label>Gender</rdfs:label>
- <owl:oneOf rdf:parseType="Collection">
  <Gender rdf:about="#Male" />
  <Gender rdf:about="#Female" />
  </owl:oneOf>
  </owl:Class>
- <owl:ObjectProperty rdf:ID="gender">
  <rdfs:label>gender</rdfs:label>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Person" />
  <rdfs:range rdf:resource="#Gender" />
  <rdf:type
rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty" />
  </owl:ObjectProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="birthDate">
  <rdfs:label>birthDate</rdfs:label>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Person" />
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#date" />
  <rdf:type
rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty" />
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="nickname">
  <rdfs:label>nickname</rdfs:label>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Person" />
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:ObjectProperty rdf:ID="homepage">
  <rdfs:label>homepage</rdfs:label>
  <rdfs:range rdf:resource="#Homepage" />
  </owl:ObjectProperty>
- <owl:ObjectProperty rdf:ID="workplaceHomepage">
  <rdfs:label>workplaceHomepage</rdfs:label>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#homepage" />
  </owl:ObjectProperty>
- <owl:ObjectProperty rdf:ID="schoolHomepage">
```

```
  <rdfs:label>schoolHomepage</rdfs:label>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#homepage" />
  </owl:ObjectProperty>
- <owl:ObjectProperty rdf:ID="hasContactProfile">
  <rdfs:label>hasContactProfile</rdfs:label>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Person" />
  <rdfs:range rdf:resource="#ContactProfile" />
  </owl:ObjectProperty>
- <owl:ObjectProperty rdf:ID="hasHomeContactProfile">
  <rdfs:label>hasHomeContactProfile</rdfs:label>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#hasContactProfile" />
  </owl:ObjectProperty>
- <owl:ObjectProperty rdf:ID="hasWorkContactProfile">
  <rdfs:label>hasHomeContact</rdfs:label>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#hasContactProfile" />
  </owl:ObjectProperty>
- <owl:ObjectProperty rdf:ID="hasSchoolContactProfile">
  <rdfs:label>hasSchoolContact</rdfs:label>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#hasContactProfile" />
  </owl:ObjectProperty>
- <owl:Class rdf:ID="ContactProfile">
  <rdfs:label>ContactProfile</rdfs:label>
- <rdfs:subClassOf>
- <owl:Restriction>
  <owl:onProperty rdf:resource="#address" />
  <owl:maxCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</
owl:maxCardinality>
  </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
- <rdfs:subClassOf>
- <owl:Restriction>
  <owl:onProperty rdf:resource="#phone" />
  <owl:maxCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</
owl:maxCardinality>
  </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
- <rdfs:subClassOf>
- <owl:Restriction>
```

```
  <owl:onProperty rdf:resource="#fax" />
  <owl:maxCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</
owl:maxCardinality>
  </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
- <rdfs:subClassOf>
- <owl:Restriction>
  <owl:onProperty rdf:resource="#homepage" />
  <owl:maxCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</
owl:maxCardinality>
  </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
- <rdfs:subClassOf>
- <owl:Restriction>
  <owl:onProperty rdf:resource="#email" />
  <owl:maxCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</
owl:maxCardinality>
  </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
- <rdfs:subClassOf>
- <owl:Restriction>
  <owl:onProperty rdf:resource="#mobile" />
  <owl:maxCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</
owl:maxCardinality>
  </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
- <rdfs:subClassOf>
- <owl:Restriction>
  <owl:onProperty rdf:resource="#im" />
  <owl:maxCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</
owl:maxCardinality>
  </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
- <rdfs:subClassOf>
- <owl:Restriction>
```

```
  <owl:onProperty rdf:resource="#myagent" />
  <owl:maxCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</
owl:maxCardinality>
  </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="address">
  <rdfs:label>address</rdfs:label>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="phone">
  <rdfs:label>phone</rdfs:label>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="fax">
  <rdfs:label>fax</rdfs:label>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="mobile">
  <rdfs:label>mobile</rdfs:label>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="sms">
  <rdfs:label>sms</rdfs:label>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:ObjectProperty rdf:ID="email">
  <rdfs:label>email</rdfs:label>
  <rdfs:range rdf:resource="#Email" />
  </owl:ObjectProperty>
- <owl:ObjectProperty rdf:ID="im">
  <rdfs:label>im</rdfs:label>
  <rdfs:range rdf:resource="#ChatID" />
  </owl:ObjectProperty>
```

```
- <owl:ObjectProperty rdf:ID="myagent">
  <rdfs:label>im</rdfs:label>
  <rdfs:range rdf:resource="#JADEAgentID" />
  </owl:ObjectProperty>
- <owl:Class rdf:ID="InternetResourceURL">
  <rdfs:label>InternetResourceURL</rdfs:label>
  </owl:Class>
- <owl:Class rdf:ID="Document">
  <rdfs:label>Document</rdfs:label>
- <owl:equivalentClass>
  <owl:Class rdf:about="http://xmlns.com/foaf/0.1#Document" />
  </owl:equivalentClass>
  </owl:Class>
- <owl:Class rdf:ID="Homepage">
  <rdfs:label>Homepage</rdfs:label>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#InternetResourceURL" />
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Document" />
  </owl:Class>
- <owl:Class rdf:ID="Email">
  <rdfs:label>Email</rdfs:label>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#InternetResourceURL" />
  </owl:Class>
- <owl:Class rdf:ID="ChatID">
  <rdfs:label>ChatID</rdfs:label>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#InternetResourceURL" />
  </owl:Class>
- <owl:Class rdf:ID="JADEAgentID">
  <rdfs:label>JADEAgentID</rdfs:label>
  </owl:Class>
- <owl:ObjectProperty rdf:ID="providedBy">
  <rdfs:label>providedBy</rdfs:label>
  <rdfs:domain rdf:resource="#ChatID" />
  <rdfs:range rdf:resource="#IMProvider" />
  </owl:ObjectProperty>
- <owl:ObjectProperty rdf:ID="hasRegisteredChatID">
  <rdfs:label>hasRegisteredChatID</rdfs:label>
  <owl:inverseOf rdf:resource="#providedBy" />
  </owl:ObjectProperty>
- <owl:Class rdf:ID="IMProvider">
  <rdfs:label>IMProvider</rdfs:label>
```

```
- <rdfs:subClassOf>
- <owl:Restriction>
  <owl:onProperty rdf:resource="#hasRegisteredChatID" />
  <owl:minCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</
owl:minCardinality>
  </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
- <owl:ObjectProperty rdf:ID="knows">
  <rdfs:label>knows</rdfs:label>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Person" />
  <rdfs:domain rdf:resource="#Person" />
  <rdf:type
rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#SymmetricProperty" />
- <owl:equivalentProperty>
  <owl:ObjectProperty rdf:about="http://xmlns.com/foaf/0.1#knows" />
  </owl:equivalentProperty>
  </owl:ObjectProperty>
  <owl:Class rdf:ID="Newspaper" />
  <owl:Class rdf:ID="Transport" />
  <owl:Class rdf:ID="Actor" />
  <owl:Class rdf:ID="Shop" />
  <owl:Class rdf:ID="Restaurant" />
  <owl:Class rdf:ID="Habit" />
- <owl:Class rdf:ID="NonprofitOrganization">
- <rdfs:subClassOf>
  <owl:Class rdf:ID="Organization" />
  </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="LeisureActivity" />
  <owl:Class rdf:ID="Coordenate" />
- <owl:Class rdf:ID="Car">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Transport" />
  </owl:Class>
- <owl:Class rdf:ID="Behaviour">
  <rdfs:label
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">Behaviour</rdfs
:label>
```

```
  <rdfs:comment
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">User habit to
help on provider choice</rdfs:comment>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Sweet" />
- <owl:Class rdf:ID="Train">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Transport" />
  </owl:Class>
- <owl:Class rdf:about="#Organization">
  <rdfs:comment
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">Organization is
an entity representing social institutions
(foaf:Organization).</rdfs:comment>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Actor" />
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Cigarette" />
  <owl:Class rdf:ID="Drink" />
- <owl:Class rdf:ID="PersonBulcao">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Actor" />
  <rdfs:comment
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">The collection
of all human beings (foaf:Person).</rdfs:comment>
  </owl:Class>
- <owl:Class rdf:ID="Child">
  <rdfs:comment
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">User has
children</rdfs:comment>
  </owl:Class>
- <owl:Class rdf:ID="On_foot">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Transport" />
  </owl:Class>
- <owl:Class rdf:ID="Bicycle">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Transport" />
  </owl:Class>
- <owl:Class rdf:ID="Group">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Actor" />
- <rdfs:subClassOf>
- <owl:Restriction>
- <owl:onProperty>
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="hasGroupMember" />
```

```
  </owl:onProperty>
  <owl:minCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int">1</owl:minCardinal
ity>
  </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:comment
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">A collection of
individual actors. Each element of Group is a composite object made up
of individual members (foaf:Group).</rdfs:comment>
  </owl:Class>
- <owl:Class rdf:ID="GovernmentOrganization">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Organization" />
  </owl:Class>
- <owl:Class rdf:ID="EducationalOrganization">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Organization" />
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Food" />
- <owl:Class rdf:ID="PersonGroup">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Group" />
- <rdfs:subClassOf>
- <owl:Restriction>
- <owl:onProperty>
  <owl:ObjectProperty rdf:about="#hasGroupMember" />
  </owl:onProperty>
  <owl:allValuesFrom rdf:resource="#PersonBulcao" />
  </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:comment
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">Group made up
of people.</rdfs:comment>
  </owl:Class>
- <owl:Class rdf:ID="Bus">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Transport" />
  </owl:Class>
- <owl:Class rdf:ID="MaritalStatus">
- <rdfs:subClassOf>
- <owl:Class>
- <owl:oneOf rdf:parseType="Collection">
  <MaritalStatus rdf:ID="Single" />
```

```
  <MaritalStatus rdf:ID="Married" />
  <MaritalStatus rdf:ID="Divorced" />
  </owl:oneOf>
  </owl:Class>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#Thing"
/>
  </owl:Class>
- <owl:Class rdf:ID="User">
- <owl:equivalentClass>
- <rdf:Description
rdf:about="http://pervasive.semanticweb.org/ont/2004/06/person#Person"
>
  <owl:equivalentClass rdf:resource="#User" />
  </rdf:Description>
  </owl:equivalentClass>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="WorkInformation" />
  <owl:Class rdf:ID="SchoolAddress" />
- <owl:Class rdf:ID="CommercialOrganization">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Organization" />
  <rdfs:comment
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">NonprofitOrgani
zationCommercial</rdfs:comment>
  </owl:Class>
- <owl:ObjectProperty rdf:ID="coordenates">
  <rdfs:range rdf:resource="#Coordenate" />
- <rdfs:domain>
- <owl:Class>
- <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
  <owl:Class rdf:about="#SchoolAddress" />
  <owl:Class rdf:about="#Shop" />
  <owl:Class rdf:about="#WorkInformation" />
  <owl:Class rdf:about="#Restaurant" />
  </owl:unionOf>
  </owl:Class>
  </rdfs:domain>
  </owl:ObjectProperty>
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="synonym" />
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="related_slot" />
```

```
- <owl:ObjectProperty rdf:about="#hasGroupMember">
  <rdfs:comment
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">Indicates a
member of a group (foaf:member).</rdfs:comment>
  <rdfs:range rdf:resource="#Actor" />
- <owl:inverseOf>
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="isMemberOf" />
  </owl:inverseOf>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Group" />
  </owl:ObjectProperty>
- <owl:ObjectProperty rdf:about="#isMemberOf">
  <owl:inverseOf rdf:resource="#hasGroupMember" />
  <rdfs:range rdf:resource="#Group" />
  <rdfs:domain rdf:resource="#Actor" />
  </owl:ObjectProperty>
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="broader" />
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="hasWorkAddress" />
- <owl:ObjectProperty rdf:ID="made">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Group" />
- <owl:inverseOf>
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="maker" />
  </owl:inverseOf>
  <rdfs:range rdf:resource="#PersonBulcao" />
  </owl:ObjectProperty>
- <owl:ObjectProperty rdf:about="#maker">
  <owl:inverseOf rdf:resource="#made" />
  <rdfs:range rdf:resource="#Group" />
  <rdfs:domain rdf:resource="#PersonBulcao" />
  <rdfs:comment
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">inverse_of_made
</rdfs:comment>
  </owl:ObjectProperty>
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="name2" />
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="narrower" />
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="documentation" />
- <owl:ObjectProperty rdf:ID="hasChild">
  <rdfs:domain rdf:resource="#User" />
  <rdfs:range rdf:resource="#Child" />
  </owl:ObjectProperty>
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="cui" />
```

```
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="hasHomeAddress" />
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="semantic_type" />
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="departureTime">
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#time" />
  <rdfs:domain rdf:resource="#WorkInformation" />
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="coordenate">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Coordenate" />
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="workAddress">
  <rdfs:label
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">workAddress</rd
fs:label>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="takeKids">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Behaviour" />
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"
/>
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="homeAddress">
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  <rdfs:label
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">homeAddress</rd
fs:label>
  <rdfs:comment
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">Address where
de User lives</rdfs:comment>
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="latitude">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Coordenate" />
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="collectKids">
```

```
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"
/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Behaviour" />
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="longitude">
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Coordenate" />
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="arrivalTime">
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#time" />
  <rdfs:domain rdf:resource="#WorkInformation" />
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="hasName">
  <rdfs:comment
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">The name of an
actor (foaf:name).</rdfs:comment>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Actor" />
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:DatatypeProperty rdf:ID="lunchTime">
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#time" />
  <rdfs:domain rdf:resource="#WorkInformation" />
  </owl:DatatypeProperty>
- <owl:TransitiveProperty rdf:ID="isSubOrganizationOf">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Organization" />
  <rdf:type
rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty" />
  <rdfs:range rdf:resource="#Organization" />
  </owl:TransitiveProperty>
- <owl:FunctionalProperty rdf:ID="hasFirstName">
  <rdfs:comment
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">The first name
of a person (foaf:firstname).</rdfs:comment>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#PersonBulcao" />
  <rdf:type
rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty" />
```

```
  </owl:FunctionalProperty>
- <owl:FunctionalProperty rdf:ID="maritualStatus">
  <rdfs:domain rdf:resource="#User" />
  <rdf:type
rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty" />
  <rdfs:range rdf:resource="#MaritalStatus" />
  </owl:FunctionalProperty>
- <owl:FunctionalProperty rdf:ID="maritalStatus">
  <rdf:type
rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty" />
  <rdfs:range rdf:resource="#MaritalStatus" />
  <rdfs:domain rdf:resource="#User" />
  </owl:FunctionalProperty>
- <owl:FunctionalProperty rdf:ID="hasBirthday">
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#date" />
  <rdf:type
rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty" />
  <rdfs:domain rdf:resource="#PersonBulcao" />
  </owl:FunctionalProperty>
- <owl:FunctionalProperty rdf:ID="hasBehavior">
  <rdfs:domain rdf:resource="#User" />
  <rdfs:range rdf:resource="#Behaviour" />
  <rdf:type
rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty" />
  </owl:FunctionalProperty>
- <owl:FunctionalProperty rdf:ID="hasSurname">
  <rdfs:comment
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">The surname of
a person (foaf:surname).</rdfs:comment>
  <rdf:type
rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#DatatypeProperty" />
  <rdfs:domain rdf:resource="#PersonBulcao" />
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
/>
  </owl:FunctionalProperty>
  </rdf:RDF>
- <!--  Created with Protege (with OWL Plugin 3.2.1, Build 365)
http://protege.stanford.edu
  -->
```

Ontologia Device

```
<?xml version="1.0"?>


<!DOCTYPE rdf:RDF [
    <!ENTITY owl "http://www.w3.org/2002/07/owl#" >
    <!ENTITY xsd "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" >
    <!ENTITY owl2xml "http://www.w3.org/2006/12/owl2-xml#" >
    <!ENTITY rdfs "http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" >
    <!ENTITY rdf "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" >
    <!ENTITY device "http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#" >
]>


<rdf:RDF xmlns="http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#"
     xml:base="http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device"
     xmlns:owl2xml="http://www.w3.org/2006/12/owl2-xml#"
     xmlns:device="http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#"
     xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
     xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
     xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
     xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#">
    <owl:Ontology rdf:about=""/>



    <!--

///////////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
    //
    // Object Properties
    //

///////////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
```

```
     -->



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#MACProtocolSupport -->

    <owl:ObjectProperty rdf:about="#MACProtocolSupport">
        <rdfs:range rdf:resource="#MACProtocol"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#NetworkInterfaceCard"/>
    </owl:ObjectProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#hasDeviceComponent -->

    <owl:ObjectProperty rdf:about="#hasDeviceComponent">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;InverseFunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#Device"/>
        <rdfs:range rdf:resource="#DeviceComponent"/>
    </owl:ObjectProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#isPartOfDevice --
>

    <owl:ObjectProperty rdf:about="#isPartOfDevice">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:range rdf:resource="#Device"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#DeviceComponent"/>
        <owl:inverseOf rdf:resource="#hasDeviceComponent"/>
    </owl:ObjectProperty>
```

```
    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#operatingSystemCompatible
-->

    <owl:ObjectProperty rdf:about="#operatingSystemCompatible">
        <rdfs:domain rdf:resource="#HardwareComponent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="#OperatingSystem"/>
    </owl:ObjectProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#storageMedia -->

    <owl:ObjectProperty rdf:about="#storageMedia">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#SecondaryStorage"/>
        <rdfs:range rdf:resource="#StorageMedia"/>
    </owl:ObjectProperty>



    <!--

///////////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
    //
    // Data properties
    //

///////////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
     -->





    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#HTMLVersionSupported -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#HTMLVersionSupported">
```

```
        <rdfs:domain rdf:resource="#UserAgent"/>
        <rdfs:range>
            <rdf:Description>
                <rdf:type rdf:resource="&owl;DataRange"/>
                <owl:oneOf>
                    <rdf:Description>
                        <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">2.0</rdf:first>
                        <rdf:rest>
                            <rdf:Description>
                                <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">3.2</rdf:first>
                                <rdf:rest>
                                    <rdf:Description>
                                        <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">4.0</rdf:first>
                                        <rdf:rest>
                                            <rdf:Description>
                                                <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">4.01</rdf:first>
                                                <rdf:rest
rdf:resource="&rdf;nil"/>
                                            </rdf:Description>
                                        </rdf:rest>
                                    </rdf:Description>
                                </rdf:rest>
                            </rdf:Description>
                        </rdf:rest>
                    </rdf:Description>
                </owl:oneOf>
            </rdf:Description>
        </rdfs:range>
    </owl:DatatypeProperty>
```

```
    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#IPAddress -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#IPAddress">
        <rdfs:domain rdf:resource="#NetworkInterfaceCard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#JVMInstalled -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#JVMInstalled">
        <rdfs:domain rdf:resource="#SoftwareComponent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#MACAddress -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#MACAddress">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#NetworkInterfaceCard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#MACProtocolSupported -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#MACProtocolSupported">
        <rdfs:range>
            <rdf:Description>
                <rdf:type rdf:resource="&owl;DataRange"/>
                <owl:oneOf>
                    <rdf:Description>
                        <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
```

```
                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">802.11a</rdf:first>
                        <rdf:rest>
                            <rdf:Description>
                                <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">802.11b</rdf:first>
                                <rdf:rest>
                                    <rdf:Description>
                                        <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">802.11g</rdf:first>
                                        <rdf:rest>
                                            <rdf:Description>
                                                <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">802.3</rdf:first>
                                                <rdf:rest>
                                                    <rdf:Description>
                                                        <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">802.3ab</rdf:first>
                                                        <rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">802.3ae</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">802.3u</rdf:first>
```

```
<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">802.3z</rdf:first>

<rdf:rest rdf:resource="&rdf;nil"/>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>
                                                                    </rdf:rest>
                                                                </rdf:Description>
                                                            </rdf:rest>
                                                        </rdf:Description>
                                                    </rdf:rest>
                                                </rdf:Description>
                                            </rdf:rest>
                                        </rdf:Description>
                                    </rdf:rest>
                                </rdf:Description>
                            </rdf:rest>
                        </rdf:Description>
                    </owl:oneOf>
                </rdf:Description>
            </rdfs:range>
        </owl:DatatypeProperty>



        <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#MIMETypesSupported -->
```

```
    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#MIMETypesSupported">
        <rdfs:domain rdf:resource="#SoftwareComponent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>




    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#NonWirelessProtocol -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#NonWirelessProtocol">
        <rdfs:range>
            <rdf:Description>
                <rdf:type rdf:resource="&owl;DataRange"/>
                <owl:oneOf>
                    <rdf:Description>
                        <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Ethernet</rdf:first>
                        <rdf:rest>
                            <rdf:Description>
                                <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Fast_Ethernet</rdf:first>
                                <rdf:rest>
                                    <rdf:Description>
                                        <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string"

>Gigabit_Ethernet</rdf:first>
                                        <rdf:rest
rdf:resource="&rdf;nil"/>
                                    </rdf:Description>
                                </rdf:rest>
                            </rdf:Description>
                        </rdf:rest>
                    </rdf:Description>
                </owl:oneOf>
```

```
            </rdf:Description>
        </rdfs:range>
    </owl:DatatypeProperty>




    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#TVDecoderSupported -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#TVDecoderSupported">
        <rdfs:domain rdf:resource="#VideoCaptureCard"/>
        <rdfs:range>
            <rdf:Description>
                <rdf:type rdf:resource="&owl;DataRange"/>
                <owl:oneOf>
                    <rdf:Description>
                        <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">NTSC</rdf:first>
                        <rdf:rest>
                            <rdf:Description>
                                <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">PAL</rdf:first>
                                <rdf:rest>
                                    <rdf:Description>
                                        <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">SECAM</rdf:first>
                                        <rdf:rest
rdf:resource="&rdf;nil"/>
                                    </rdf:Description>
                                </rdf:rest>
                            </rdf:Description>
                        </rdf:rest>
                    </rdf:Description>
                </owl:oneOf>
            </rdf:Description>
        </rdfs:range>
```

```
    </owl:DatatypeProperty>




    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#XHTMLModuleSupported -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#XHTMLModuleSupported">
        <rdfs:domain rdf:resource="#UserAgent"/>
        <rdfs:range>
            <rdf:Description>
                <rdf:type rdf:resource="&owl;DataRange"/>
                <owl:oneOf>
                    <rdf:Description>
                        <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Applet</rdf:first>
                        <rdf:rest>
                            <rdf:Description>
                                <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Base</rdf:first>
                                <rdf:rest>
                                    <rdf:Description>
                                        <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string"

>Client_Side_Image_Map</rdf:first>
                                        <rdf:rest>
                                            <rdf:Description>
                                                <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Core</rdf:first>
                                                <rdf:rest>
                                                    <rdf:Description>
                                                        <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
```

```
                                                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Forms</rdf:first>
                                                                <rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">Frames</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">Iframe</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">Image</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string"

>Intrinsic_Events</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>
```

```
<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">Legacy</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">Link</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">Metainformation</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string"

>Name_Identification</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">Object</rdf:first>

<rdf:rest>
```

```
<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">Scripting</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string"

>Server_Side_Image_Map</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">Style_Attribute</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">Style_Sheet</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">Table</rdf:first>
```

```
<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">Target</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">Text_Extension</rdf:first>

<rdf:rest rdf:resource="&rdf;nil"/>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>
```

```
</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>
```

```
                                                                    </rdf:rest>
                                                                </rdf:Description>
                                                            </rdf:rest>
                                                        </rdf:Description>
                                                    </rdf:rest>
                                                </rdf:Description>
                                            </rdf:rest>
                                        </rdf:Description>
                                    </rdf:rest>
                                </rdf:Description>
                            </owl:oneOf>
                        </rdf:Description>
                    </rdfs:range>
                </owl:DatatypeProperty>



                <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#XHTMLVersionSupported -->

                <owl:DatatypeProperty rdf:about="#XHTMLVersionSupported">
                    <rdfs:domain rdf:resource="#UserAgent"/>
                    <rdfs:range>
                        <rdf:Description>
                            <rdf:type rdf:resource="&owl;DataRange"/>
                            <owl:oneOf>
                                <rdf:Description>
                                    <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                                    <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">1.0</rdf:first>
                                    <rdf:rest>
                                        <rdf:Description>
                                            <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                                            <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">1.1</rdf:first>
                                            <rdf:rest rdf:resource="&rdf;nil"/>
                                        </rdf:Description>
                                    </rdf:rest>
                                </rdf:Description>
                            </owl:oneOf>
```

```
            </rdf:Description>
        </rdfs:range>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#acceptDownloadableSoftware
-->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#acceptDownloadableSoftware">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#SoftwareComponent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#analogVideoInputSupported
-->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#analogVideoInputSupported">
        <rdfs:domain rdf:resource="#VideoCaptureCard"/>
        <rdfs:range>
            <rdf:Description>
                <rdf:type rdf:resource="&owl;DataRange"/>
                <owl:oneOf>
                    <rdf:Description>
                        <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">CVBS</rdf:first>
                        <rdf:rest>
                            <rdf:Description>
                                <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">S-Video</rdf:first>
                                <rdf:rest rdf:resource="&rdf;nil"/>
                            </rdf:Description>
                        </rdf:rest>
```

```
                    </rdf:Description>
                </owl:oneOf>
            </rdf:Description>
        </rdfs:range>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#audioInputEncoderSupported
-->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#audioInputEncoderSupported">
        <rdfs:domain rdf:resource="#AudioInterfaceCard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#automaticTVStdDetection --
>

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#automaticTVStdDetection">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#VideoCaptureCard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#bitsPerPixel -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#bitsPerPixel">
        <rdfs:domain rdf:resource="#GraphicsCard"/>
        <rdfs:range>
            <rdf:Description>
                <rdf:type rdf:resource="&owl;DataRange"/>
                <owl:oneOf>
                    <rdf:Description>
```

```
                        <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">1</rdf:first>
                        <rdf:rest>
                            <rdf:Description>
                                <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">16</rdf:first>
                                <rdf:rest>
                                    <rdf:Description>
                                        <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">2</rdf:first>
                                        <rdf:rest>
                                            <rdf:Description>
                                                <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">32</rdf:first>
                                                <rdf:rest>
                                                    <rdf:Description>
                                                        <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">4</rdf:first>
                                                        <rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">8</rdf:first>

<rdf:rest rdf:resource="&rdf;nil"/>

</rdf:Description>
                                                        </rdf:rest>
                                                    </rdf:Description>
                                                </rdf:rest>
```

```
                                                    </rdf:Description>
                                                </rdf:rest>
                                            </rdf:Description>
                                        </rdf:rest>
                                    </rdf:Description>
                                </rdf:rest>
                            </rdf:Description>
                        </owl:oneOf>
                    </rdf:Description>
                </rdfs:range>
            </owl:DatatypeProperty>



            <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#bitsPerSamplingSupported -
->

            <owl:DatatypeProperty rdf:about="#bitsPerSamplingSupported">
                <rdfs:range rdf:resource="&xsd;nonNegativeInteger"/>
                <rdfs:domain>
                    <owl:Class>
                        <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
                            <rdf:Description rdf:about="#AudioInterfaceCard"/>
                            <rdf:Description rdf:about="#VideoCaptureCard"/>
                        </owl:unionOf>
                    </owl:Class>
                </rdfs:domain>
            </owl:DatatypeProperty>



            <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#bluetoothVersionCompatibil
ity -->

            <owl:DatatypeProperty rdf:about="#bluetoothVersionCompatibility">
                <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
                <rdfs:domain rdf:resource="#BluetoothCard"/>
                <rdfs:range rdf:resource="&xsd;float"/>
```

```
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#canReadAndWrite -
->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#canReadAndWrite">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#OpticalMediaDrive"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#charSetSupported
-->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#charSetSupported">
        <rdfs:domain rdf:resource="#SoftwareComponent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#colorCapability -
->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#colorCapability">
        <rdfs:range>
            <rdf:Description>
                <rdf:type rdf:resource="&owl;DataRange"/>
                <owl:oneOf>
                    <rdf:Description>
                        <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Binary</rdf:first>
                        <rdf:rest>
                            <rdf:Description>
                                <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
```

```
                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Full</rdf:first>
                                <rdf:rest>
                                    <rdf:Description>
                                        <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Grey</rdf:first>
                                        <rdf:rest>
                                            <rdf:Description>
                                                <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Limited</rdf:first>
                                                <rdf:rest>
                                                    <rdf:Description>
                                                        <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Mapped</rdf:first>
                                                        <rdf:rest
rdf:resource="&rdf;nil"/>
                                                    </rdf:Description>
                                                </rdf:rest>
                                            </rdf:Description>
                                        </rdf:rest>
                                    </rdf:Description>
                                </rdf:rest>
                            </rdf:Description>
                        </rdf:rest>
                    </rdf:Description>
                </owl:oneOf>
            </rdf:Description>
        </rdfs:range>
        <rdfs:domain>
            <owl:Class>
                <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
                    <rdf:Description rdf:about="#Display"/>
                    <rdf:Description rdf:about="#Printing"/>
                </owl:unionOf>
```

```
            </owl:Class>
        </rdfs:domain>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#componentModelName -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#componentModelName">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#HardwareComponent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#cpuFrequency -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#cpuFrequency">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#CPU"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#cpuType -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#cpuType">
        <rdfs:domain rdf:resource="#CPU"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#defaultGatewayAddress -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#defaultGatewayAddress">
```

```
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#NetworkInterfaceCard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#deviceModel -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#deviceModel">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#Device"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#deviceStatusOn --
>

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#deviceStatusOn">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#Device"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#documentLanguageSupported
-->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#documentLanguageSupported">
        <rdfs:domain rdf:resource="#SoftwareComponent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>
```

```
    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#downloadableBrowserApps --
>

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#downloadableBrowserApps">
        <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="#downloadableSoftwareSupport"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#downloadableSoftwareSuppor
t -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#downloadableSoftwareSupport">
        <rdfs:domain rdf:resource="#SoftwareComponent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#framesPerSecondSupported -
->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#framesPerSecondSupported">
        <rdfs:domain rdf:resource="#VideoCaptureCard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;nonNegativeInteger"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#frequencyBand -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#frequencyBand">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#BluetoothCard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
```

```
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#graphicsMemorySize -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#graphicsMemorySize">
        <rdfs:domain rdf:resource="#GraphicsCard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#has3DAudioSupport
-->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#has3DAudioSupport">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#AudioInterfaceCard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#hasStaticIPAddress -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#hasStaticIPAddress">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#NetworkInterfaceCard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#inputCharSetSupported -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#inputCharSetSupported">
```

```
        <rdfs:domain rdf:resource="#Keyboard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#internalCacheSize
-->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#internalCacheSize">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#CPU"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#irdaSpeedRate -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#irdaSpeedRate">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#IrDACard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#isActive -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#isActive">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#NetworkInterfaceCard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#isFaxEnabled -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#isFaxEnabled">
```

```
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#Modem"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#isFramesCapable -
->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#isFramesCapable">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#UserAgent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#isFullyCharged --
>

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#isFullyCharged">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#Battery"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#isImageCapable --
>

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#isImageCapable">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#UserAgent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>
```

```
    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#isJavaAppletEnabled -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#isJavaAppletEnabled">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#UserAgent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#isJavaEnabled -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#isJavaEnabled">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#SoftwareComponent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#isJavaScriptEnabled -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#isJavaScriptEnabled">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#UserAgent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#isSoftKeysCapable
-->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#isSoftKeysCapable">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#Keyboard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>
```

```
    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#isSoundOutputCapable -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#isSoundOutputCapable">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#Device"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#isStereoEnabled -
->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#isStereoEnabled">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#AudioInterfaceCard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#isTablesCapable -
->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#isTablesCapable">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#UserAgent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#isTextInputCapable -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#isTextInputCapable">
```

```
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#Device"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#isVoiceInputCapable -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#isVoiceInputCapable">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#Device"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#isWirelessEnabled
-->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#isWirelessEnabled">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#NetworkInterfaceCard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#javaPlatformsSupported -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#javaPlatformsSupported">
        <rdfs:domain rdf:resource="#SoftwareComponent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>
```

```
    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#javaScriptVersionSupported
-->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#javaScriptVersionSupported">
        <rdfs:domain rdf:resource="#UserAgent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#keyboardType -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#keyboardType">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#Keyboard"/>
        <rdfs:range>
            <rdf:Description>
                <rdf:type rdf:resource="&owl;DataRange"/>
                <owl:oneOf>
                    <rdf:Description>
                        <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Disambiguating</rdf:first>
                        <rdf:rest>
                            <rdf:Description>
                                <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">PhoneKeypad</rdf:first>
                                <rdf:rest>
                                    <rdf:Description>
                                        <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Querty</rdf:first>
                                        <rdf:rest
rdf:resource="&rdf;nil"/>
                                    </rdf:Description>
                                </rdf:rest>
                            </rdf:Description>
```

```
                        </rdf:rest>
                    </rdf:Description>
                </owl:oneOf>
            </rdf:Description>
        </rdfs:range>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#mainMemoryFreeSize -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#mainMemoryFreeSize">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#MainMemory"/>
        <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#mainMemorySize"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#mainMemorySize --
>

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#mainMemorySize">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#MainMemory"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#maxRadiusRange --
>

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#maxRadiusRange">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#BluetoothCard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>
```

```
    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#maxSpeedSupported
-->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#maxSpeedSupported">
        <rdfs:domain rdf:resource="#Modem"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#meanConsumptionDuration --
>

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#meanConsumptionDuration">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#Battery"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;duration"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#numberOfRPM -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#numberOfRPM">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#HardDiskDrive"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;float"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#numberOfSoftKeys
-->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#numberOfSoftKeys">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
```

```
        <rdfs:domain rdf:resource="#Keyboard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;positiveInteger"/>
    </owl:DatatypeProperty>




    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#outpurCharSetSupported -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#outpurCharSetSupported">
        <rdfs:domain rdf:resource="#Keyboard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>




    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#paperOrientation
-->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#paperOrientation">
        <rdfs:domain rdf:resource="#Printing"/>
        <rdfs:range>
            <rdf:Description>
                <rdf:type rdf:resource="&owl;DataRange"/>
                <owl:oneOf>
                    <rdf:Description>
                        <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Landscape</rdf:first>
                        <rdf:rest>
                            <rdf:Description>
                                <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Portrait</rdf:first>
                                <rdf:rest rdf:resource="&rdf;nil"/>
                            </rdf:Description>
                        </rdf:rest>
                    </rdf:Description>
                </owl:oneOf>
            </rdf:Description>
```

```
        </rdfs:range>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#paperSize -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#paperSize">
        <rdfs:domain rdf:resource="#Printing"/>
        <rdfs:range>
            <rdf:Description>
                <rdf:type rdf:resource="&owl;DataRange"/>
                <owl:oneOf>
                    <rdf:Description>
                        <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">A0</rdf:first>
                        <rdf:rest>
                            <rdf:Description>
                                <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">A1</rdf:first>
                                <rdf:rest>
                                    <rdf:Description>
                                        <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">A10</rdf:first>
                                        <rdf:rest>
                                            <rdf:Description>
                                                <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">A2</rdf:first>
                                                <rdf:rest>
                                                    <rdf:Description>
                                                        <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">A3</rdf:first>
```

```
                                                                <rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">A4</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">A5</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">A6</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">A7</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">A8</rdf:first>
```

```
<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">A9</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">C6_C5_Envelope</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">DL_Envelope</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">Envelope_6X9</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">Envelope_No10</rdf:first>
```

```
<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">US_Executive</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">US_Legal</rdf:first>

<rdf:rest>

<rdf:Description>

<rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>

<rdf:first rdf:datatype="&xsd;string">US_Letter</rdf:first>

<rdf:rest rdf:resource="&rdf;nil"/>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>
```

```
</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>

</rdf:rest>

</rdf:Description>
                                                    </rdf:rest>
                                                </rdf:Description>
                                            </rdf:rest>
                                        </rdf:Description>
```

```
                                        </rdf:rest>
                                    </rdf:Description>
                                </rdf:rest>
                            </rdf:Description>
                        </rdf:rest>
                    </rdf:Description>
                </owl:oneOf>
            </rdf:Description>
        </rdfs:range>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#pixelAspectRatio
-->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#pixelAspectRatio">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#Display"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#pixelsPerLineSupported -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#pixelsPerLineSupported">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#VideoCaptureCard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;nonNegativeInteger"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#pointingResolution -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#pointingResolution">
        <rdfs:domain rdf:resource="#Pointer"/>
```

```
        <rdfs:range>
            <rdf:Description>
                <rdf:type rdf:resource="&owl;DataRange"/>
                <owl:oneOf>
                    <rdf:Description>
                        <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Character</rdf:first>
                        <rdf:rest>
                            <rdf:Description>
                                <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Line</rdf:first>
                                <rdf:rest>
                                    <rdf:Description>
                                        <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Pixel</rdf:first>
                                        <rdf:rest
rdf:resource="&rdf;nil"/>
                                    </rdf:Description>
                                </rdf:rest>
                            </rdf:Description>
                        </rdf:rest>
                    </rdf:Description>
                </owl:oneOf>
            </rdf:Description>
        </rdfs:range>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#powerAvailable --
>

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#powerAvailable">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#Battery"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
```

```
    </owl:DatatypeProperty>




    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#preferenceForFrames -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#preferenceForFrames">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#UserAgent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>




    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#printingLayout --
>

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#printingLayout">
        <rdfs:domain rdf:resource="#Printing"/>
        <rdfs:range>
            <rdf:Description>
                <rdf:type rdf:resource="&owl;DataRange"/>
                <owl:oneOf>
                    <rdf:Description>
                        <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">2_pages_to_1</rdf:first>
                        <rdf:rest>
                            <rdf:Description>
                                <rdf:type rdf:resource="&rdf;List"/>
                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">4_pages_to_1</rdf:first>
                                <rdf:rest>
                                    <rdf:Description>
                                        <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Folded</rdf:first>
                                        <rdf:rest>
```

```
                                            <rdf:Description>
                                                <rdf:type
rdf:resource="&rdf;List"/>
                                                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd;string">Plain</rdf:first>
                                                <rdf:rest
rdf:resource="&rdf;nil"/>
                                            </rdf:Description>
                                        </rdf:rest>
                                    </rdf:Description>
                                </rdf:rest>
                            </rdf:Description>
                        </rdf:rest>
                    </rdf:Description>
                </owl:oneOf>
            </rdf:Description>
        </rdfs:range>
    </owl:DatatypeProperty>




    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#printingResolution -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#printingResolution">
        <rdfs:domain rdf:resource="#Printing"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>




    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#radioOutputPower
-->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#radioOutputPower">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#BluetoothCard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>
```

```
    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#samplingRateSupported -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#samplingRateSupported">
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
        <rdfs:domain>
            <owl:Class>
                <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
                    <rdf:Description rdf:about="#AudioInterfaceCard"/>
                    <rdf:Description rdf:about="#VideoCaptureCard"/>
                </owl:unionOf>
            </owl:Class>
        </rdfs:domain>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#screenHeightSize
-->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#screenHeightSize">
        <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#screenSize"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#screenSize -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#screenSize">
        <rdfs:domain rdf:resource="#Display"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#screenSizeChar --
>
```

```
    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#screenSizeChar">
        <rdfs:domain rdf:resource="#Display"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#screenSizeCharHeight -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#screenSizeCharHeight">
        <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#screenSizeChar"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#screenSizeCharWidth -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#screenSizeCharWidth">
        <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#screenSizeChar"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#screenWidthSize -
->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#screenWidthSize">
        <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#screenSize"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#softwareName -->
```

```
    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#softwareName">
        <rdfs:domain rdf:resource="#SoftwareComponent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#softwareVersion -
->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#softwareVersion">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#SoftwareComponent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#storageCapacity -
->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#storageCapacity">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#SecondaryStorage"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#storageFreeCapacity -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#storageFreeCapacity">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#SecondaryStorage"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>
```

```
    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#subNetMask -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#subNetMask">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
        <rdfs:domain rdf:resource="#NetworkInterfaceCard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#transferEncodingSupported
-->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#transferEncodingSupported">
        <rdfs:domain rdf:resource="#SoftwareComponent"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#videoOutputEncoderSupporte
d -->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="#videoOutputEncoderSupported">
        <rdfs:domain rdf:resource="#VideoCaptureCard"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string"/>
    </owl:DatatypeProperty>



    <!--

///////////////////////////////////////////////////////////////////////
////////////////
    //
    // Classes
    //
```

```
////////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
     -->




    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#AudioInterfaceCard -->

    <owl:Class rdf:about="#AudioInterfaceCard">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#HardwareComponent"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Battery"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#CPU"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Display"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#GraphicsCard"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Keyboard"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#MainMemory"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Modem"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#NetworkInterfaceCard"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Pointer"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Printing"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#SecondaryStorage"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#VideoCaptureCard"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#Battery -->

    <owl:Class rdf:about="#Battery">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#HardwareComponent"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#CPU"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Display"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#GraphicsCard"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Keyboard"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#MainMemory"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Modem"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#NetworkInterfaceCard"/>
```

```
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Pointer"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Printing"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#SecondaryStorage"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#VideoCaptureCard"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#BluetoothCard -->

    <owl:Class rdf:about="#BluetoothCard">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#WirelessCard"/>
        <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>
                <owl:onProperty rdf:resource="#MACProtocolSupport"/>
                <owl:maxCardinality
rdf:datatype="&xsd;nonNegativeInteger">0</owl:maxCardinality>
            </owl:Restriction>
        </rdfs:subClassOf>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#CD_RW_Writer -->

    <owl:Class rdf:about="#CD_RW_Writer">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#OpticalMediaDrive"/>
        <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>
                <owl:onProperty rdf:resource="#storageMedia"/>
                <owl:hasValue rdf:resource="#CD"/>
            </owl:Restriction>
        </rdfs:subClassOf>
        <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>
                <owl:onProperty rdf:resource="#canReadAndWrite"/>
                <owl:hasValue
rdf:datatype="&xsd;boolean">true</owl:hasValue>
            </owl:Restriction>
        </rdfs:subClassOf>
```

```
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#CD_R_Drive -->

    <owl:Class rdf:about="#CD_R_Drive">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#OpticalMediaDrive"/>
        <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>
                <owl:onProperty rdf:resource="#storageMedia"/>
                <owl:hasValue rdf:resource="#CD"/>
            </owl:Restriction>
        </rdfs:subClassOf>
        <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>
                <owl:onProperty rdf:resource="#canReadAndWrite"/>
                <owl:hasValue
rdf:datatype="&xsd;boolean">false</owl:hasValue>
            </owl:Restriction>
        </rdfs:subClassOf>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#CPU -->

    <owl:Class rdf:about="#CPU">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#HardwareComponent"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Display"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#GraphicsCard"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Keyboard"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#MainMemory"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Modem"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#NetworkInterfaceCard"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Pointer"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Printing"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#SecondaryStorage"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#VideoCaptureCard"/>
    </owl:Class>
```

```
    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#DVD_RW_Writer -->

    <owl:Class rdf:about="#DVD_RW_Writer">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#OpticalMediaDrive"/>
        <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>
                <owl:onProperty rdf:resource="#canReadAndWrite"/>
                <owl:hasValue
rdf:datatype="&xsd;boolean">true</owl:hasValue>
            </owl:Restriction>
        </rdfs:subClassOf>
        <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>
                <owl:onProperty rdf:resource="#storageMedia"/>
                <owl:hasValue rdf:resource="#DVD"/>
            </owl:Restriction>
        </rdfs:subClassOf>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#DVD_R_Drive -->

    <owl:Class rdf:about="#DVD_R_Drive">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#OpticalMediaDrive"/>
        <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>
                <owl:onProperty rdf:resource="#storageMedia"/>
                <owl:hasValue rdf:resource="#DVD"/>
            </owl:Restriction>
        </rdfs:subClassOf>
        <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>
                <owl:onProperty rdf:resource="#canReadAndWrite"/>
                <owl:hasValue
rdf:datatype="&xsd;boolean">false</owl:hasValue>
            </owl:Restriction>
```

```
        </rdfs:subClassOf>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#Device -->

    <owl:Class rdf:about="#Device"/>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#DeviceComponent -
->

    <owl:Class rdf:about="#DeviceComponent"/>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#Display -->

    <owl:Class rdf:about="#Display">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#HardwareComponent"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#GraphicsCard"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Keyboard"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#MainMemory"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Modem"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#NetworkInterfaceCard"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Pointer"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Printing"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#SecondaryStorage"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#VideoCaptureCard"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#GraphicsCard -->

    <owl:Class rdf:about="#GraphicsCard">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#HardwareComponent"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Keyboard"/>
```

```
        <owl:disjointWith rdf:resource="#MainMemory"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Modem"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#NetworkInterfaceCard"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Pointer"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Printing"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#SecondaryStorage"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#VideoCaptureCard"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#HardDiskDrive -->

    <owl:Class rdf:about="#HardDiskDrive">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#MagneticMediaDrive"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#HardwareComponent
-->

    <owl:Class rdf:about="#HardwareComponent">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#DeviceComponent"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#SoftwareComponent"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#IrDACard -->

    <owl:Class rdf:about="#IrDACard">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#WirelessCard"/>
        <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>
                <owl:onProperty rdf:resource="#MACProtocolSupport"/>
                <owl:maxCardinality
rdf:datatype="&xsd;nonNegativeInteger">0</owl:maxCardinality>
            </owl:Restriction>
        </rdfs:subClassOf>
```

```
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#Keyboard -->

    <owl:Class rdf:about="#Keyboard">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#HardwareComponent"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#MainMemory"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Modem"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#NetworkInterfaceCard"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Pointer"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Printing"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#SecondaryStorage"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#VideoCaptureCard"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#MACProtocol -->

    <owl:Class rdf:about="#MACProtocol">
        <owl:equivalentClass>
            <owl:Class>
                <owl:oneOf rdf:parseType="Collection">
                    <rdf:Description rdf:about="#IEEE_802.11g"/>
                    <rdf:Description rdf:about="#IEEE_802.3"/>
                    <rdf:Description rdf:about="#IEEE_802.3ae"/>
                    <rdf:Description rdf:about="#IEEE_802.11a"/>
                    <rdf:Description rdf:about="#IEEE_802.3u"/>
                    <rdf:Description rdf:about="#IEEE_802.11b"/>
                    <rdf:Description rdf:about="#IEEE_802.3ab"/>
                    <rdf:Description rdf:about="#IEEE_802.3z"/>
                </owl:oneOf>
            </owl:Class>
        </owl:equivalentClass>
    </owl:Class>
```

```
    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#MagneticMedia -->

    <owl:Class rdf:about="#MagneticMedia">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#StorageMedia"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#OpticalMedia"/>
    </owl:Class>




    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#MagneticMediaDrive -->

    <owl:Class rdf:about="#MagneticMediaDrive">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#SecondaryStorage"/>
        <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>
                <owl:onProperty rdf:resource="#storageMedia"/>
                <owl:allValuesFrom rdf:resource="#MagneticMedia"/>
            </owl:Restriction>
        </rdfs:subClassOf>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#OpticalMediaDrive"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#MainMemory -->

    <owl:Class rdf:about="#MainMemory">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#HardwareComponent"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Modem"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#NetworkInterfaceCard"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Pointer"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Printing"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#SecondaryStorage"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#VideoCaptureCard"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#Modem -->
```

```
    <owl:Class rdf:about="#Modem">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#HardwareComponent"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#NetworkInterfaceCard"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Pointer"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Printing"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#SecondaryStorage"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#VideoCaptureCard"/>
    </owl:Class>



    <!--
http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#NetworkInterfaceCard -->

    <owl:Class rdf:about="#NetworkInterfaceCard">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#HardwareComponent"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Pointer"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Printing"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#SecondaryStorage"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#VideoCaptureCard"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#NonWirelessCard -
->

    <owl:Class rdf:about="#NonWirelessCard">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#NetworkInterfaceCard"/>
        <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>
                <owl:onProperty rdf:resource="#isWirelessEnabled"/>
                <owl:hasValue
rdf:datatype="&xsd;boolean">false</owl:hasValue>
            </owl:Restriction>
        </rdfs:subClassOf>
        <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>
                <owl:onProperty rdf:resource="#MACProtocolSupport"/>
```

```
                <owl:allValuesFrom>
                    <owl:Class>
                        <owl:oneOf rdf:parseType="Collection">
                            <rdf:Description rdf:about="#IEEE_802.3"/>
                            <rdf:Description
rdf:about="#IEEE_802.3ae"/>
                            <rdf:Description
rdf:about="#IEEE_802.3u"/>
                            <rdf:Description
rdf:about="#IEEE_802.3ab"/>
                            <rdf:Description
rdf:about="#IEEE_802.3z"/>
                        </owl:oneOf>
                    </owl:Class>
                </owl:allValuesFrom>
            </owl:Restriction>
        </rdfs:subClassOf>
    </owl:Class>




    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#OperatingSystem -
->

    <owl:Class rdf:about="#OperatingSystem">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#SoftwareComponent"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#UserAgent"/>
    </owl:Class>




    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#OpticalMedia -->

    <owl:Class rdf:about="#OpticalMedia">
        <owl:equivalentClass>
            <owl:Class>
                <owl:oneOf rdf:parseType="Collection">
                    <rdf:Description rdf:about="#DVD"/>
                    <rdf:Description rdf:about="#CD"/>
                </owl:oneOf>
```

```
            </owl:Class>
        </owl:equivalentClass>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#StorageMedia"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#OpticalMediaDrive
-->

    <owl:Class rdf:about="#OpticalMediaDrive">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#SecondaryStorage"/>
        <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>
                <owl:onProperty rdf:resource="#storageMedia"/>
                <owl:allValuesFrom rdf:resource="#OpticalMedia"/>
            </owl:Restriction>
        </rdfs:subClassOf>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#Pointer -->

    <owl:Class rdf:about="#Pointer">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#HardwareComponent"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Printing"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#SecondaryStorage"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#VideoCaptureCard"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#Printing -->

    <owl:Class rdf:about="#Printing">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#HardwareComponent"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#SecondaryStorage"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#VideoCaptureCard"/>
    </owl:Class>
```

```
    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#SecondaryStorage
-->

    <owl:Class rdf:about="#SecondaryStorage">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#HardwareComponent"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#VideoCaptureCard"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#SoftwareComponent
-->

    <owl:Class rdf:about="#SoftwareComponent">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#DeviceComponent"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#StorageMedia -->

    <owl:Class rdf:about="#StorageMedia"/>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#UserAgent -->

    <owl:Class rdf:about="#UserAgent">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#SoftwareComponent"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#VideoCaptureCard
-->

    <owl:Class rdf:about="#VideoCaptureCard">
```

```
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#HardwareComponent"/>
    </owl:Class>




    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#WiFiCard -->

    <owl:Class rdf:about="#WiFiCard">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#WirelessCard"/>
        <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>
                <owl:onProperty rdf:resource="#MACProtocolSupport"/>
                <owl:allValuesFrom>
                    <owl:Class>
                        <owl:oneOf rdf:parseType="Collection">
                            <rdf:Description
rdf:about="#IEEE_802.11g"/>
                            <rdf:Description
rdf:about="#IEEE_802.11a"/>
                            <rdf:Description
rdf:about="#IEEE_802.11b"/>
                        </owl:oneOf>
                    </owl:Class>
                </owl:allValuesFrom>
            </owl:Restriction>
        </rdfs:subClassOf>
    </owl:Class>




    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#WirelessCard -->

    <owl:Class rdf:about="#WirelessCard">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#NetworkInterfaceCard"/>
        <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>
                <owl:onProperty rdf:resource="#isWirelessEnabled"/>
                <owl:hasValue
rdf:datatype="&xsd;boolean">true</owl:hasValue>
            </owl:Restriction>
```

```
        </rdfs:subClassOf>
    </owl:Class>



    <!-- http://www.w3.org/2002/07/owl#Thing -->

    <owl:Class rdf:about="&owl;Thing"/>



    <!--

///////////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
    //
    // Individuals
    //

///////////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
     -->



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#CD -->

    <owl:Thing rdf:about="#CD">
        <rdf:type rdf:resource="#OpticalMedia"/>
    </owl:Thing>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#DVD -->

    <owl:Thing rdf:about="#DVD">
        <rdf:type rdf:resource="#OpticalMedia"/>
    </owl:Thing>
```

```
<!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#IEEE_802.11a -->

<owl:Thing rdf:about="#IEEE_802.11a">
    <rdf:type rdf:resource="#MACProtocol"/>
</owl:Thing>



<!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#IEEE_802.11b -->

<owl:Thing rdf:about="#IEEE_802.11b">
    <rdf:type rdf:resource="#MACProtocol"/>
</owl:Thing>



<!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#IEEE_802.11g -->

<owl:Thing rdf:about="#IEEE_802.11g">
    <rdf:type rdf:resource="#MACProtocol"/>
</owl:Thing>



<!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#IEEE_802.3 -->

<MACProtocol rdf:about="#IEEE_802.3">
    <rdf:type rdf:resource="&owl;Thing"/>
</MACProtocol>



<!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#IEEE_802.3ab -->

<MACProtocol rdf:about="#IEEE_802.3ab">
    <rdf:type rdf:resource="&owl;Thing"/>
</MACProtocol>
```

```
    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#IEEE_802.3ae -->

    <MACProtocol rdf:about="#IEEE_802.3ae">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </MACProtocol>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#IEEE_802.3u -->

    <owl:Thing rdf:about="#IEEE_802.3u">
        <rdf:type rdf:resource="#MACProtocol"/>
    </owl:Thing>



    <!-- http://linkserver.icmc.usp.br/ckonto/device#IEEE_802.3z -->

    <MACProtocol rdf:about="#IEEE_802.3z">
        <rdf:type rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </MACProtocol>
</rdf:RDF>
```

Ontologia DOHand

```
      <?xml version="1.0"?>



      <!DOCTYPE rdf:RDF [
          <!ENTITY owl "http://www.w3.org/2002/07/owl#" >
          <!ENTITY xsd "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" >
          <!ENTITY owl2xml "http://www.w3.org/2006/12/owl2-xml#" >
          <!ENTITY rdfs "http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" >
          <!ENTITY rdf "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" >
          <!ENTITY DOHand
"http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#" >
      ]>
```

```
      <rdf:RDF
xmlns="http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#"

xml:base="http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl"
           xmlns:owl2xml="http://www.w3.org/2006/12/owl2-xml#"

xmlns:DOHand="http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#
"
           xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
           xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
           xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
           xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#">
          <owl:Ontology rdf:about=""/>



          <!--

///////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
          //
          // Object Properties
          //

///////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
           -->





          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#applies -->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#applies">
              <rdfs:range rdf:resource="#AAA_Method"/>
              <rdfs:domain rdf:resource="#Provider"/>
          </owl:ObjectProperty>
```

```
        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#belongsTo -->

        <owl:ObjectProperty rdf:about="#belongsTo">
            <rdf:type
rdf:resource="&owl;InverseFunctionalProperty"/>
            <rdfs:domain rdf:resource="#Device"/>
            <rdfs:range rdf:resource="#User"/>
        </owl:ObjectProperty>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#connectedTo --
>

        <owl:ObjectProperty rdf:about="#connectedTo">
            <rdfs:range rdf:resource="#Access_Point"/>
            <rdfs:domain rdf:resource="#Device"/>
        </owl:ObjectProperty>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#has -->

        <owl:ObjectProperty rdf:about="#has">
            <rdf:type rdf:resource="&owl;TransitiveProperty"/>
            <rdfs:domain rdf:resource="#Device"/>
            <rdfs:range rdf:resource="#Network_Interface"/>
            <rdfs:range rdf:resource="#Resource"/>
        </owl:ObjectProperty>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#hasAAA -->
```

```
          <owl:ObjectProperty rdf:about="#hasAAA">
              <rdfs:domain rdf:resource="#AAA_Method"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Accounting_Method"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Authentication_Method"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Authorisation_Method"/>
          </owl:ObjectProperty>




          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#hasAP -->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#hasAP">
              <rdfs:range rdf:resource="#Access_Point"/>
              <rdfs:domain rdf:resource="#Network"/>
              <rdfs:domain rdf:resource="#Route"/>
              <rdfs:domain rdf:resource="#Topology"/>
          </owl:ObjectProperty>




          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#hasQoS -->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#hasQoS">
              <rdfs:domain rdf:resource="#Access_Point"/>
              <rdfs:domain rdf:resource="#Network"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Quality_of_Service"/>
          </owl:ObjectProperty>




          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#hasSubscriptio
nTo -->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#hasSubscriptionTo">
              <rdfs:range rdf:resource="#Community"/>
              <rdfs:domain rdf:resource="#User"/>
          </owl:ObjectProperty>
```

```
        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#hasTopology --
>

        <owl:ObjectProperty rdf:about="#hasTopology">
            <rdfs:domain rdf:resource="#Network"/>
            <rdfs:range rdf:resource="#Topology"/>
        </owl:ObjectProperty>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#implements -->

        <owl:ObjectProperty rdf:about="#implements">
            <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
            <rdfs:domain rdf:resource="#Access_Point"/>
            <rdfs:domain rdf:resource="#Network_Interface"/>
            <rdfs:range rdf:resource="#Network_Standard"/>
            <owl:inverseOf rdf:resource="#isImplemetedBy"/>
        </owl:ObjectProperty>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#insertedTo -->

        <owl:ObjectProperty rdf:about="#insertedTo">
            <rdfs:range rdf:resource="#Environment"/>
            <rdfs:domain rdf:resource="#User"/>
        </owl:ObjectProperty>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#isAbout -->
```

```
          <owl:ObjectProperty rdf:about="#isAbout">
              <rdfs:range rdf:resource="#Application"/>
              <rdfs:domain rdf:resource="#Context"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Device"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Environment"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Network"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#User"/>
          </owl:ObjectProperty>




          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#isAboutApplica
tion -->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#isAboutApplication">
              <rdfs:range rdf:resource="#Application"/>
              <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#isAbout"/>
          </owl:ObjectProperty>




          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#isAboutDevice
-->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#isAboutDevice">
              <rdfs:range rdf:resource="#Device"/>
              <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#isAbout"/>
          </owl:ObjectProperty>




          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#isAboutEnviron
ment -->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#isAboutEnvironment">
              <rdfs:range rdf:resource="#Environment"/>
              <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#isAbout"/>
```

```
          </owl:ObjectProperty>



          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#isAboutNetwork
-->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#isAboutNetwork">
              <rdfs:range rdf:resource="#Network"/>
              <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#isAbout"/>
          </owl:ObjectProperty>



          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#isAboutUser --
>

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#isAboutUser">
              <rdfs:range rdf:resource="#User"/>
              <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="#isAbout"/>
          </owl:ObjectProperty>



          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#isAssociatedTo
-->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#isAssociatedTo">
              <rdfs:domain rdf:resource="#Habit"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Route"/>
          </owl:ObjectProperty>



          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#isImplemetedBy
-->
```

```
          <owl:ObjectProperty rdf:about="#isImplemetedBy">
              <rdf:type
rdf:resource="&owl;InverseFunctionalProperty"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Access_Point"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Network_Interface"/>
              <rdfs:domain rdf:resource="#Network_Standard"/>
          </owl:ObjectProperty>




          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#isMemberOf -->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#isMemberOf">
              <rdfs:range rdf:resource="#Social_Networking"/>
              <rdfs:domain rdf:resource="#User"/>
          </owl:ObjectProperty>




          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#isOwnerOf -->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#isOwnerOf">
              <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Device"/>
              <rdfs:domain rdf:resource="#User"/>
              <owl:inverseOf rdf:resource="#belongsTo"/>
          </owl:ObjectProperty>




          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#isPartOf -->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#isPartOf">
              <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
              <rdfs:domain rdf:resource="#Access_Point"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Topology"/>
```

```
          </owl:ObjectProperty>



          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#isPartof -->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#isPartof">
              <rdfs:domain rdf:resource="#Community"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Social_Networking"/>
          </owl:ObjectProperty>



          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#offers -->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#offers">
              <rdfs:domain rdf:resource="#Provider"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Service"/>
          </owl:ObjectProperty>



          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#relatedTo -->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#relatedTo">
              <rdfs:range rdf:resource="#Community"/>
              <rdfs:domain rdf:resource="#Route"/>
          </owl:ObjectProperty>



          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#requires -->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#requires">
              <rdfs:domain rdf:resource="#Application"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Quality_of_Service"/>
```

```
          </owl:ObjectProperty>



          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#runs -->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#runs">
              <rdfs:range rdf:resource="#Network"/>
              <rdfs:domain rdf:resource="#Provider"/>
          </owl:ObjectProperty>



          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#userHas -->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#userHas">
              <rdfs:range rdf:resource="#Habit"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Profile"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Reputation"/>
              <rdfs:domain rdf:resource="#User"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#User_Preference"/>
          </owl:ObjectProperty>



          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#uses -->

          <owl:ObjectProperty rdf:about="#uses">
              <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty"/>
              <rdfs:domain rdf:resource="#Application"/>
              <rdfs:range rdf:resource="#Service"/>
          </owl:ObjectProperty>



          <!--
```

```
///////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
          //
          // Classes
          //

///////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
           -->




          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#AAA_Method -->

          <owl:Class rdf:about="#AAA_Method"/>



          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Access_Point -
->

          <owl:Class rdf:about="#Access_Point"/>



          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Accounting_Met
hod -->

          <owl:Class rdf:about="#Accounting_Method"/>



          <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Acess_Provider
-->
```

```
        <owl:Class rdf:about="#Acess_Provider">
            <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Provider"/>
        </owl:Class>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Ad_Hoc -->

        <owl:Class rdf:about="#Ad_Hoc">
            <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Wireless"/>
        </owl:Class>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Application --
>

        <owl:Class rdf:about="#Application"/>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Application_Co
ntext -->

        <owl:Class rdf:about="#Application_Context">
            <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Context"/>
        </owl:Class>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Authentication
_Method -->

        <owl:Class rdf:about="#Authentication_Method"/>
```

```
        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Authorisation_
Method -->

        <owl:Class rdf:about="#Authorisation_Method"/>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Community -->

        <owl:Class rdf:about="#Community"/>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Content_Provid
er -->

        <owl:Class rdf:about="#Content_Provider">
            <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Provider"/>
        </owl:Class>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Context -->

        <owl:Class rdf:about="#Context"/>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Device -->

        <owl:Class rdf:about="#Device"/>
```

```
        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Device_Context
-->

        <owl:Class rdf:about="#Device_Context">
            <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Context"/>
        </owl:Class>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Environment --
>

        <owl:Class rdf:about="#Environment"/>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Environment_Co
ntext -->

        <owl:Class rdf:about="#Environment_Context">
            <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Context"/>
        </owl:Class>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Habit -->

        <owl:Class rdf:about="#Habit"/>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Hardware -->

        <owl:Class rdf:about="#Hardware">
```

```
            <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Resource"/>
        </owl:Class>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Infrastructure
d -->

        <owl:Class rdf:about="#Infrastructured">
            <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Wireless"/>
        </owl:Class>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Network -->

        <owl:Class rdf:about="#Network"/>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Network_Contex
t -->

        <owl:Class rdf:about="#Network_Context">
            <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Context"/>
        </owl:Class>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Network_Interf
ace -->

        <owl:Class rdf:about="#Network_Interface"/>
```

```
        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Network_Standa
rd -->

        <owl:Class rdf:about="#Network_Standard"/>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Privacy -->

        <owl:Class rdf:about="#Privacy">
            <rdfs:subClassOf rdf:resource="#User_Preference"/>
        </owl:Class>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Profile -->

        <owl:Class rdf:about="#Profile"/>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Provider -->

        <owl:Class rdf:about="#Provider"/>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Quality_of_Ser
vice -->

        <owl:Class rdf:about="#Quality_of_Service"/>
```

```
        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Reputation -->

        <owl:Class rdf:about="#Reputation"/>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Resource -->

        <owl:Class rdf:about="#Resource"/>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Route -->

        <owl:Class rdf:about="#Route"/>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Service -->

        <owl:Class rdf:about="#Service"/>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Social_Network
ing -->

        <owl:Class rdf:about="#Social_Networking"/>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Topology -->

        <owl:Class rdf:about="#Topology"/>
```

```
        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#User -->

        <owl:Class rdf:about="#User"/>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#User_Context -
->

        <owl:Class rdf:about="#User_Context">
            <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Context"/>
        </owl:Class>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#User_Preferenc
e -->

        <owl:Class rdf:about="#User_Preference"/>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Wired -->

        <owl:Class rdf:about="#Wired">
            <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Network"/>
        </owl:Class>



        <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl#Wireless -->
```

```
        <owl:Class rdf:about="#Wireless">
            <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Network"/>
        </owl:Class>
    </rdf:RDF>
```

Ontologia Y-Comm

```
 <?xml version="1.0"?>


<!DOCTYPE rdf:RDF [
    <!ENTITY owl "http://www.w3.org/2002/07/owl#" >
    <!ENTITY xsd "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" >
    <!ENTITY owl2xml "http://www.w3.org/2006/12/owl2-xml#" >
    <!ENTITY rdfs "http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" >
    <!ENTITY rdf "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" >
    <!ENTITY YComm "http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#" >
]>


<rdf:RDF xmlns="http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#"
     xml:base="http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl"
     xmlns:owl2xml="http://www.w3.org/2006/12/owl2-xml#"
     xmlns:YComm="http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#"
     xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
     xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
     xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
     xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#">
    <owl:Ontology rdf:about=""/>



    <!--

///////////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
    //
    // Classes
    //
```

```
/////////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
     -->




    <!--   http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#AbstracaoRede
-->

    <owl:Class rdf:about="#AbstracaoRede">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Gerenciador"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#YComm"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </owl:Class>



    <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#AmbienteAplicacao -->

    <owl:Class rdf:about="#AmbienteAplicacao">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Camada"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#RedePeriferica"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#Camada -->

    <owl:Class rdf:about="#Camada">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#YComm"/>
    </owl:Class>



    <!--   http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#DriverEstacao
-->
```

```
    <owl:Class rdf:about="#DriverEstacao">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#AbstracaoRede"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#RedeNucleo"/>
    </owl:Class>



    <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#DriverInterface -->

    <owl:Class rdf:about="#DriverInterface">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#AbstracaoRede"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#RedePeriferica"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#Estacao -->

    <owl:Class rdf:about="#Estacao">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#PlataformaHardware"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#RedeNucleo"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#Gerenciador --
>

    <owl:Class rdf:about="#Gerenciador">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#YComm"/>
    </owl:Class>



    <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#GerenciadorPoliticas --
>
```

```
    <owl:Class rdf:about="#GerenciadorPoliticas">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Camada"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Gerenciador"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#RedePeriferica"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </owl:Class>




    <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#GerenciamentoRede -->

    <owl:Class rdf:about="#GerenciamentoRede">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Camada"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#RedeNucleo"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </owl:Class>




    <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#HandoverVertical -->

    <owl:Class rdf:about="#HandoverVertical">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Camada"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Gerenciador"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#RedePeriferica"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#Interface -->

    <owl:Class rdf:about="#Interface">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#PlataformaHardware"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#RedePeriferica"/>
    </owl:Class>
```

```
    <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#PlataformaHardware -->

    <owl:Class rdf:about="#PlataformaHardware">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Camada"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </owl:Class>



    <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#PlataformaServico -->

    <owl:Class rdf:about="#PlataformaServico">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Camada"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#RedeNucleo"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#QoS -->

    <owl:Class rdf:about="#QoS">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Camada"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Gerenciador"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#RedePeriferica"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#QoSRede -->

    <owl:Class rdf:about="#QoSRede">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Camada"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#RedeNucleo"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </owl:Class>
```

```
    <!--  http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#Reconfiguracao
-->

    <owl:Class rdf:about="#Reconfiguracao">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Camada"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#RedeNucleo"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#RedeNucleo -->

    <owl:Class rdf:about="#RedeNucleo"/>



    <!--  http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#RedePeriferica
-->

    <owl:Class rdf:about="#RedePeriferica"/>



    <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#SistemaTransporteNucleo
-->

    <owl:Class rdf:about="#SistemaTransporteNucleo">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Camada"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#RedeNucleo"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </owl:Class>
```

```
    <!--
http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#TransporteSistemaFinal
-->

    <owl:Class rdf:about="#TransporteSistemaFinal">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Camada"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Gerenciador"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#RedePeriferica"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </owl:Class>



    <!-- http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#YComm -->

    <owl:Class rdf:about="#YComm"/>



    <!-- http://www.w3.org/2002/07/owl#Thing -->

    <owl:Class rdf:about="&owl;Thing"/>



    <!--

///////////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
    //
    // Individuals
    //

///////////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
     -->
```

```
    <!-- http://www.icmc.usp.br/~rporto/YComm/YComm.owl#interface -->

    <owl:Thing rdf:about="#interface"/>




    <!--

///////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
    //
    // General axioms
    //

///////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////
     -->

    <rdf:Description>
        <rdf:type rdf:resource="&owl;AllDisjointClasses"/>
        <owl:members rdf:parseType="Collection">
            <rdf:Description rdf:about="#AbstracaoRede"/>
            <rdf:Description rdf:about="#AmbienteAplicacao"/>
            <rdf:Description rdf:about="#GerenciadorPoliticas"/>
            <rdf:Description rdf:about="#HandoverVertical"/>
            <rdf:Description rdf:about="#PlataformaHardware"/>
            <rdf:Description rdf:about="#QoS"/>
            <rdf:Description rdf:about="#RedeNucleo"/>
            <rdf:Description rdf:about="#RedePeriferica"/>
            <rdf:Description rdf:about="#TransporteSistemaFinal"/>
        </owl:members>
    </rdf:Description>
</rdf:RDF>
```

Ontologia SOHand

```
<?xml version="1.0"?>



<!DOCTYPE rdf:RDF [
```

```
    <!ENTITY owl "http://www.w3.org/2002/07/owl#" >
    <!ENTITY xsd "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" >
    <!ENTITY owl2xml "http://www.w3.org/2006/12/owl2-xml#" >
    <!ENTITY rdfs "http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" >
    <!ENTITY rdf "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" >
    <!ENTITY                                                    SOHand
"http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#" >
]>


<rdf:RDF
xmlns="http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#"

xml:base="http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl"
     xmlns:owl2xml="http://www.w3.org/2006/12/owl2-xml#"
     xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"

xmlns:SOHand="http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#
"
     xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
     xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
     xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#">
    <owl:Ontology rdf:about="">
        <owl:imports
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/DOHand.owl"
/>
    </owl:Ontology>



    <!--

///////////////////////////////////////////////////////////////////
////////////////
    //
    // Classes
    //

///////////////////////////////////////////////////////////////////
////////////////
```

```
     -->



    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#Authentication
Broker -->

    <owl:Class rdf:about="#AuthenticationBroker">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Broker"/>
    </owl:Class>



    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#Broker -->

    <owl:Class rdf:about="#Broker">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#SOHand"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </owl:Class>



    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#ContextManager
-->

    <owl:Class rdf:about="#ContextManager">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Manager"/>
    </owl:Class>



    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#CoreNegotiatio
nManager -->

    <owl:Class rdf:about="#CoreNegotiationManager">
```

```
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#NegotiationManager"/>
    </owl:Class>



    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#Core_Network  -
->

    <owl:Class rdf:about="#Core_Network">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#SOHand"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </owl:Class>



    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#DeviceNegotiat
ionManager -->

    <owl:Class rdf:about="#DeviceNegotiationManager">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#NegotiationManager"/>
    </owl:Class>



    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#HandoverManage
r -->

    <owl:Class rdf:about="#HandoverManager">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Manager"/>
    </owl:Class>



    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#Manager -->

    <owl:Class rdf:about="#Manager">
```

```
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#SOHand"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </owl:Class>



    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#NegotiationMan
ager -->

    <owl:Class rdf:about="#NegotiationManager">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Manager"/>
    </owl:Class>



    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#Peripheral_Net
work -->

    <owl:Class rdf:about="#Peripheral_Network">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#SOHand"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </owl:Class>



    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#Policy -->

    <owl:Class rdf:about="#Policy">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#SOHand"/>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </owl:Class>



    <!--  http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#Price
-->
```

```
    <owl:Class rdf:about="#Price">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Policy"/>
    </owl:Class>




    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#Privacy -->

    <owl:Class rdf:about="#Privacy">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Policy"/>
    </owl:Class>




    <!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#QoS -
->

    <owl:Class rdf:about="#QoS">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Policy"/>
    </owl:Class>




    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#SOHand -->

    <owl:Class rdf:about="#SOHand"/>




    <!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/9/SOHand.owl#Security -->

    <owl:Class rdf:about="#Security">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Policy"/>
    </owl:Class>
```

```
    <!-- http://www.w3.org/2002/07/owl#Thing -->


    <owl:Class rdf:about="&owl;Thing"/>
</rdf:RDF>
```