



**Universidade Estadual de Campinas**  
**Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação**  
**Departamento de Comunicações**

**Proposta de uma Arquitetura para Cidades Digitais baseada  
em um Middleware Peer-to-Peer**

**Autor:** André Marcelo Panhan  
**Orientador:** Prof. Dr. Leonardo de Souza Mendes

Trabalho apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica. Área de Concentração: Telecomunicações e Telemática.

Comissão Examinadora

**Prof. Dr. Leonardo de Souza Mendes**  
**Prof. Dr. Lourival Aparecido de Góis**  
**Prof. Dr. Marcelo Eduardo Pellenz**  
**Prof. Dr. Mario Lemes Proença Junior**  
**Prof. Dr. Cesar José Bonjuani Pagan**

Campinas, 29 de julho de 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

P193p Panhan, André Marcelo  
Proposta de uma arquitetura para cidades digitais baseada em um middleware peer-to-peer / André Marcelo Panhan. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Leonardo de Souza Mendes.  
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Middleware. 2. Software middleware. 3. Arquitetura Peer-toPeer (Redes de computação). 4. Arquitetura orientada a serviço (Computação). 5. Tecnologia da informação. I. Mendes, Leonardo de Souza . II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.

Título em Inglês: Proposal of an architecture for digital cities based on a P2P middleware

Palavras-chave em Inglês: Middleware, Middleware software, Architectures Peer-to-Peer (Computer science), Service-oriented network architecture, Information technology

Área de concentração: Telecomunicações e Telemática

Titulação: Doutor em Engenharia Elétrica

Banca examinadora: Lourival Aparecido de Góis, Marcelo Eduardo Pellenz, Mario Lemes Proença Junior, Cesar José Bonjuani Pagan

Data da defesa: 29/07/2011


Programa de Pós Graduação: Engenharia Elétrica

## COMISSÃO JULGADORA - TESE DE DOUTORADO

**Candidato:** André Marcelo Panhan

**Data da Defesa:** 29 de julho de 2011

**Título da Tese:** "Proposta de uma Arquitetura para Cidades Digitais baseada em um Middleware Peer-to-Peer"

Prof. Dr. Leonardo de Souza Mendes (Presidente):  \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Lourival Aparecido de Góis:  \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Marcelo Eduardo Pellenz:  \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Cesar José Bonjuani Pagan:  \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Mario Lemes Proença Junior:  \_\_\_\_\_



# **Agradecimentos**

Ao meu orientador, Prof. Dr. Leonardo de Souza Mendes, que com dedicação contribuiu em minha formação pessoal e profissional.

A Prefeitura Municipal de Pedreira, pela prestatividade e atenção às minhas solicitações.

Aos amigos e colegas.

Aos meus pais Paulo Afonso e Marilia Ap. Armelin, meu irmão Daniel, aos meus filhos Maitê e Vinicius e à minha companheira Joseane, pelo incentivo, paciência e colaboração.

A todos que direta ou indiretamente, prestaram seu apoio e cooperação na realização desse trabalho.



Dedico este trabalho  
aos meus avós Guido e Lourdes Panhan;  
e Ângelo e Maria Armelim;





# Resumo

As cidades digitais compõem um movimento emergente que visa a criação de ambientes virtuais, os quais surgem como uma alternativa para potencializar a promoção de comunidades e regiões de modo a complementar a organização das cidades reais. Elas representam ambientes com capacidade cognitiva e criativa, construídos a partir de competências individuais e sistemas de informação que operam sobre os espaços físicos, institucionais e digitais das cidades.

Dois questões principais guiaram este estudo: o desenvolvimento de ambientes inovadores para cidades e a interoperabilidade de sistemas distribuídos das cidades digitais. Após uma introdução sobre o significado de cidades digitais, será apresentada a arquitetura proposta para a criação de um ambiente computacional para cidades digitais, baseado em um middleware peer-to-peer (P2P).

A arquitetura proposta para cidades digitais neste trabalho proporciona escalabilidade, interoperabilidade, independência de plataformas e fomento da produção comercial, cultural e tecnológica.

**Palavras-chave:** Middleware, Software middleware, Arquitetura Peer-toPeer (Redes de computação), Arquitetura orientada a serviço (Computação), Tecnologia da informação.



# Abstract

Digital cities comprise an emerging movement that aims to create virtual environments, which arise as an alternative to potentiate the promotion of communities and regions to complement the organization of real cities. They represent environments with cognitive ability and creative, constructed from individual skills and information systems that operate on the physical, institutional and digital spaces from cities.

Two main questions guided this study: the development of innovative environments for cities and interoperability of distributed systems of digital cities. After an introduction on the meaning of digital cities, will be presented the proposed architecture to create a computational environment for digital cities, based on a peer-to-peer (P2P) middleware.

The proposed architecture for digital cities in this work provides scalability, interoperability, platform independence and promoting commercial production, cultural and technological.

**Keywords:** Middleware, Middleware software, Architectures Peer-to-Peer (Computer science), Service-oriented network architecture, Information technology



# Sumário

Lista de Figuras .....	xv
Lista de Tabelas .....	xvii
Glossário .....	xix
Artigos publicados pelo autor .....	xxiii
Capítulo 1 Introdução .....	25
1.1 Motivação .....	25
1.2 Cidades Digitais .....	27
1.3 Ambiente de Trabalho .....	29
1.4 Escopo .....	30
1.5 Objetivos e Contribuições .....	31
1.6 Estrutura da Tese .....	31
Capítulo 2 Embasamento Teórico-Conceitual .....	33
2.1 Redes Peer-to-Peer .....	33
2.1.1 Evolução das Redes P2P .....	34
2.1.2 Porque Peer-to-Peer .....	41
2.2 JXTA .....	43
2.2.1 Conceitos Básicos .....	45
2.2.2 Organização das Redes P2P .....	47
2.2.3 Porque JXTA .....	54
2.2.4 Por que não Web Services .....	55
Capítulo 3 Cidades Digitais .....	59
3.1 Inteligência e Criatividade Urbana .....	60
3.2 Estado da Arte .....	61
3.2.1 Arquitetura de Komninos .....	61
3.2.2 Arquitetura de Anthopoulos .....	64
3.2.3 Funções da Cidade Digital .....	65
3.3 Cidades Digitais existentes .....	68
3.3.1 Cidades Digitais AOL .....	68
3.3.2 Cidade Digital de Amsterdam .....	70
3.3.3 Cidade Digital de Helsinki .....	71
3.3.4 Cidade Digital de Kyoto .....	72
3.4 Analisando as Cidades Digitais .....	73
3.4.1 Objetivos .....	73
3.4.2 Arquitetura .....	74
3.4.3 Tecnologias .....	76
3.4.4 Organização .....	78
3.4.5 Considerações .....	78
Capítulo 4 Arquitetura Proposta .....	81
4.1 Arquitetura Proposta .....	82
4.1.1 Infraestrutura .....	84
4.1.2 Interoperabilidade .....	84
4.1.3 Interface .....	93
4.1.4 Serviços .....	98
4.2 Considerações .....	99

Capítulo 5 Estudo de Caso.....	101
5.1 Camada de Infraestrutura.....	101
5.2 Camada de Interoperabilidade.....	102
5.3 Camada de Interface.....	103
5.3.1 Portal Pedreira Digital.....	104
5.4 Camada de Serviços.....	107
5.5 Interação entre as Camadas do Protótipo.....	108
5.6 Arquitetura Física do Protótipo.....	112
5.7 Análise do Protótipo.....	113
5.7.1 Vantagens da Arquitetura.....	114
5.7.2 Desvantagens da Arquitetura.....	115
Capítulo 6 Conclusão.....	117
6.1 Aspectos sobre a Arquitetura Proposta.....	117
6.1.1 Contribuições da Arquitetura Proposta.....	117
6.1.2 Restrições sobre a Arquitetura Proposta.....	118
6.2 Contribuições da Pesquisa.....	119
6.3 Pesquisas Futuras.....	119
Apêndice I - Padrão do Catálogo.....	121
Referências Bibliográficas.....	125

# Lista de Figuras

Fig 2-1: Modelo organizacional do Napster [7] .....	35
Fig 2-2: Modelo organizacional do Gnutella [7] .....	36
Fig 2-3: Arquitetura Chord [14] .....	40
Fig 2-4: Arquitetura CAN [15] .....	41
Fig 2-5: Representação de uma rede JXTA [20] .....	43
Fig 2-6: Arquitetura do Framework JXTA .....	44
Fig 2-7: Relação de Comunicação quando em um Ambiente com Firewall [24] .....	46
Fig 2-8: Indexação de Serviço JXTA .....	49
Fig 2-9: Busca Consistente .....	51
Fig 2-10: Busca Random Walker .....	52
Fig 3-1: A Arquitetura de Komninos [2] .....	62
Fig 3-2: Arquitetura de Anthopoulos [34] .....	64
Fig 3-3: Cidade digital AOL de Nova Iorque .....	69
Fig 3-4: Cidade digital de Amsterdam .....	70
Fig 3-5: Cidade digital de Helsinki .....	71
Fig 3-6: Cidade digital de Kyoto .....	73
Fig 3-7: Arquitetura das cidades digitais [40] .....	75
Fig 4-1: Arquitetura proposta para cidades digitais .....	83
Fig 4-2: Rede overlay P2P .....	86
Fig 4-3: Organização do Middleware .....	88
Fig 4-4 - Intercâmbio via Middleware .....	89
Fig 4-5: Modelo organizacional do portal das cidades digitais .....	96
Fig 5-1: Modelo de Distribuição Sem Fio da Cidade de Pedreira .....	102
Fig 5-2: Protótipo do <i>middleware</i> para cidade digital de Pedreira .....	103
Fig 5-3: Portal da cidade digital de Pedreira .....	104
Fig 5-4 - Autenticação do portal da cidade digital .....	105
Fig 5-5: Pesquisa de Serviço no Portal da cidade digital .....	105
Fig 5-6: Solicitar um serviço pelo portal da cidade digital .....	106
Fig 5-7: Comprovante da solicitação do serviço .....	107
Fig 5-8: Interação entre as camadas da cidade digital .....	108
Fig 5-9: Arquivo XML com a requisição de pesquisa .....	109
Fig 5-10: Arquivo XML com o resultado da pesquisa .....	110
Fig 5-11: Arquivo XML com os dados do pedido .....	111
Fig 5-12: Arquitetura Física do Protótipo .....	113





# Lista de Tabelas

Tab. 3-1: Comparação de cidades digitais..... 79



# Glossário

<b>API:</b>	sigla de <i>Application Programming Interface</i> (traduzindo para português, Interface de Programação de Aplicativos) - conjunto de rotinas e padrões estabelecidos por um software para a utilização das suas funcionalidades por aplicativos que não pretendem envolver-se em detalhes da implementação do software, mas apenas usar seus serviços.
<b>Backbone:</b>	(traduzindo para português, espinha dorsal) - designa o esquema de ligações centrais de um sistema mais amplo, tipicamente de elevado desempenho.
<b>Broadcast:</b>	(traduzindo para português, transmitir) - processo pelo qual se transmite ou difunde determinada informação, tendo como principal característica que a mesma informação está sendo enviada para muitos receptores ao mesmo tempo.
<b>DHT:</b>	sigla de <i>Distributed hash table</i> (traduzindo para português, Tabelas <i>Hash</i> Distribuídas (DHTs) - são uma classe de sistemas distribuídos descentralizados que provêem um serviço de <i>lookup</i> similar a uma tabela <i>hash</i> : pares (chave, valor).
<b>EDGE:</b>	sigla de <i>Enhanced Data rates for GSM Evolution</i> , tecnologia digital para telefonia celular que permite melhorar a transmissão de dados e aumentar a confiabilidade da transmissão de dados.
<b>Ethernet:</b>	tecnologia de interconexão para redes locais.
<b>Gbps:</b>	sigla de <i>Gigabits</i> por segundo, uma taxa de velocidade de transmissão.
<b>GID:</b>	sigla de <i>Group Identification</i> (traduzido para português, Identificação de Grupo) - código utilizado para monitorar os grupos de usuários e para verificar as permissões desses grupos.
<b>GPRS:</b>	sigla de <i>General Packet Radio Service</i> (traduzido para português, Serviço de Rádio de Pacote Geral) - tecnologia que aumenta as taxas de transferência de dados nas redes GSM existentes. Permite o transporte de dados por pacotes (Comutação por pacotes).

<b>GUI:</b>	sigla de <i>Graphical User Interface</i> (traduzido para português, Interface Gráfica do Usuário) - tipo de interface do utilizador que permite a interação com dispositivos digitais através de elementos gráficos como ícones e outros indicadores visuais, em contraste a interface de linha de comando.
<b>Host:</b>	máquina ou computador conectado a uma rede.
<b>HSDPA:</b>	sigla de <i>High-Speed Downlink Packet Access</i> , protocolo de telefonia móvel, também chamado 3.5G.
<b>HTTP:</b>	sigla de <i>Hypertext Transfer Protocol</i> (traduzindo para português, Protocolo de Transferência de Hipertexto) - protocolo de comunicação (na camada de aplicação segundo o Modelo OSI) utilizado para sistemas de informação de hipermídia distribuídos e colaborativos.
<b>IP:</b>	sigla de <i>Internet Protocol</i> (traduzindo para português, Protocolo de Internet) - protocolos de comunicação entre computadores em rede.
<b>JXTA:</b>	sigla de <i>Juxtapose</i> - especificação independente de linguagem e plataforma para a tecnologia peer-to-peer, criada pela Sun Microsystems em 2001.
<b>Kernel:</b>	(traduzindo para português, núcleo) - componente central do sistema operativo da maioria dos computadores; ele serve de ponte entre aplicativos e o processamento real de dados feito a nível de hardware.
<b>LAN:</b>	sigla de <i>Local Area Network</i> (traduzindo para português, Rede de Área Local) - rede de computadores interligados por cabo ou por ondas de rádio, restrita geralmente a uma sala ou a um prédio.
<b>LTE:</b>	sigla de <i>Long Term Evolution</i> (traduzindo para português Evolução de Longo Prazo) - padrão de redes de comunicação móveis que se encontra em fase de adaptação por parte dos operadores que utilizam tecnologias GSM como 3G/W-CDMA e HSPA e também pelos operadores de CDMA. Esta nova tecnologia de rádio permite velocidades de 100(109)Mb/s de downlink e 50Mb/s de uplink (taxas máximas).

<b>MAN:</b>	sigla de <i>Metropolitan Area Network</i> (traduzindo para português, Rede de Área Metropolitana) - rede de computadores que ocupam o perímetro de uma cidade.
<b>Mbps:</b>	sigla de <i>Megabits</i> por segundo, uma taxa de velocidade de transmissão.
<b>Middleware:</b>	programa de computador utilizado para mover ou transportar informações e dados entre programas de diferentes protocolos de comunicação, plataformas e dependências do sistema operacional.
<b>NAT:</b>	sigla de <i>Network Address Translation</i> , técnica que consiste em reescrever os endereços IP de origem de um pacote que passam por um router ou firewall de maneira que um computador de uma rede interna tenha acesso ao exterior (rede pública).
<b>P2P:</b>	sigla de <i>Peer-to-Peer</i> (traduzindo para português, par-a-par) - arquitetura de sistemas distribuídos caracterizada pela descentralização das funções na rede, onde cada nó realiza tanto funções de servidor quanto de cliente.
<b>Rede <i>Overlay</i>:</b>	(traduzindo para português, Rede Sobreposta) - formada por processos e enlaces representados pelos canais lógicos de comunicação.
<b>SGD:</b>	sigla de Sistema de Governança Digital, é uma solução para automação da administração de prefeituras, capaz de abranger todos os setores da administração municipal. Desenvolvido pelo Laboratório de Redes de Comunicação da Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação da Unicamp.
<b>TCP:</b>	sigla de <i>Transmission Control Protocol</i> (traduzindo para português, Protocolo de Controle de Transmissão) - protocolos de comunicação entre computadores em rede.
<b>Thread:</b>	(traduzindo para português, Linha de Execução) - forma de um processo dividir a si mesmo em duas ou mais tarefas que podem ser executadas concorrentemente.
<b>UDDI:</b>	sigla de <i>Universal Description, Discovery and Integration</i> , protocolo aprovado como padrão pela OASIS e especifica um método para publicar e descobrir diretórios de serviços em uma arquitetura orientada a serviços (SOA).

<b>UDP:</b>	sigla de <i>User Datagram Protocol</i> , protocolo simples da camada de transporte.
<b>UID:</b>	sigla de <i>User Identification</i> (traduzindo para português, Identificação do Usuário) – código utilizado para monitorar os usuários e para verificar as permissões desses usuários.
<b>Unicast:</b>	endereçamento para um pacote feito a um único destino, ou seja, ponto-a-ponto.
<b>UUID:</b>	sigla de <i>Universal Unique Identifier</i> (traduzindo para português, Identificador Único Universal) – código utilizado nas redes JXTA para identificar todos os recursos da rede.
<b>VLAN:</b>	sigla de <i>Virtual Local Area Network</i> (traduzindo para português, Rede de Área Local Virtual) rede de computadores interligados por cabo logicamente independente.
<b>WI-FI:</b>	sigla de <i>Wireless Fidelity</i> , marca registrada da Wi-Fi Alliance, que é utilizada por produtos certificados que pertencem à classe de dispositivos de rede local sem fios baseados no padrão IEEE 802.11.
<b>XML:</b>	sigla de <i>eXtensible Markup Language</i> , recomendação da W3C para gerar linguagens de marcação para necessidades especiais.

## Artigos publicados pelo autor

1. Panhan, A. M., Santos, D. G., Mendes, L. S., Proposal of an Architecture for Digital Cities Creation on *ICE-B - International Conference on e-Business*, 2008, Porto – Portugal
2. Tilli, M., Panhan, A. M., Lima, O., Mendes, L. S., A Web-Based Architecture for E-Gov Application Development on *ICE-B - International Conference on e-Business*, 2008, Porto - Portugal
3. Mendes, L. S., Inocência, A., Panhan, A. M., Tilli, M., Bringing Together Digital Cities and Open Access MANs on *NAEC - The Networking and Electronic Commerce Research Conference*, 2008, Riva Del Garda, Italia
4. Panhan, A. M., Ignatowicz E., Mendes, L. S., Community Portals for Architecture Based Middleware P2P on *IEEE - LATINCOM Latin-American Conference on Communications*, 2009, Medellin - Colombia





# Capítulo 1

## Introdução

A revolução digital que vem ocorrendo nas últimas duas décadas, impulsionada pelo avanço das tecnologias de informação e comunicação, vem mudando nossa forma de comunicar, trabalhar, viajar, viver e até mesmo a maneira como utilizamos os espaços públicos. Nossas cidades se tornaram ecossistemas inteligentes conhecidos como cidades digitais. A evolução do conceito de cidade digital trouxe mudanças fundamentais nos canais de comunicação e prestação de serviços entre os governos, as empresas e os cidadãos, facilitando a adoção de processos eletrônicos nas relações sociais e comerciais.

Desta forma, propomos o desenvolvimento de uma arquitetura abrangente, modular e flexível para cidades digitais. A arquitetura resultante deverá servir como um ambiente computacional integrado que possibilite a interoperabilidade dos serviços que compõem as cidades digitais, através de redes de comunicação digital.

### 1.1 Motivação

O presente trabalho teve sua motivação principal originada em 1994, quando o Laboratório de Redes de Comunicações (LaRCom) da Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação (FEEC) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) atuava no desenvolvimento de projetos de construção de redes de convergência digital. A partir de 1999, o LaRCom iniciou o projeto de convergência digital para redes metropolitanas comunitárias, dando origem às Infovias Municipais. Em [1], Mendes et al. definem redes metropolitanas comunitárias (Infovias Municipais) como uma rede multimídia convergente que oferta acesso universal a toda população de uma cidade. O desenvolvimento das redes metropolitanas comunitárias despertou a necessidade do desenvolvimento de um ambiente que permitisse a interoperabilidade entre os

diversos sistemas distribuídos das cidades e a definição de regras para a utilização da Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) nas Infovias Municipais.

As necessidades identificadas pelo LaRCom, impulsionaram a análise de algumas arquiteturas adotadas pelas cidades para a organização das redes metropolitanas comunitárias e criação de cidades digitais. Nestas cidades, foi observada uma série de exigências em relação à arquitetura de dados, tais como: armazenamento de informações, acoplamento à cidade física e redes de comunicação. Também identificamos as formas de utilização das cidades digitais que permitem a interação e navegação dos cidadãos pelas cidades, serviços como: web chats, fóruns e interfaces gráficas virtuais 3D, visam à criação de ambientes computacionais. As cidades digitais analisadas apresentaram funções comerciais, sociais e de comunicação.

Nas análises citadas, buscou-se a princípio conhecer premissas e bases conceituais que direcionaram o desenvolvimento e os procedimentos de utilização das arquiteturas de dados adotadas pelas cidades digitais. Utilizando a classificação realizada por Komninos [2] classificamos as cidades digitais conforme seus objetivos, formando quatro diferentes tipos: cidades digitais comerciais, governamentais, virtuais e multiuso.

As cidades digitais comerciais estão focadas nas relações comerciais, com o principal objetivo de gerar recursos para os seus proprietários. Nesta tese, foi analisada a cidade digital da America On-Line (AOL).

Já as cidades digitais governamentais estão orientadas para a política, criadas para facilitar a comunicação entre o governo local e os cidadãos. Como exemplo, foi estudada a cidade digital de Amsterdam (Holanda).

As cidades digitais virtuais formam uma representação da cidade real através de modelos 3D dos edifícios e espaços públicos, oferecendo passeios virtuais e comércio eletrônico. Como foi observado na cidade digital de Helsinki (Finlândia).

Nas cidades digitais multiuso as pessoas podem obter informações sobre o tráfego, tempo, estacionamento, shoppings e ter oportunidades de interação com outros moradores e visitantes. Como a cidade digital de Kyoto (Japão).

Notou-se que as arquiteturas analisadas eram extremamente rígidas, não permitindo a escalabilidade da rede, limitando a usabilidade e centralizando a informação. As arquiteturas impossibilitam o surgimento de novas relações comerciais, a criação de novos produtos e serviços e o desenvolvimento da comunidade e região.

Ao longo da pesquisa notamos que as arquiteturas analisadas eram orientadas aos objetivos e não permitiam o intercâmbio de informações entre os serviços ofertados na cidade digital.

Todas essas observações, somadas ao fato das cidades digitais, em sua maioria, serem fruto de trabalho empírico, motivaram a realização deste trabalho, que trata da preparação de um conjunto de características mínimas que uma arquitetura de cidade digital deve apresentar, incluindo uma arquitetura para cidades digitais que proporcione escalabilidade, interoperabilidade, independência de plataformas e fomento da produção comercial, cultural e tecnológica.

## 1.2 Cidades Digitais

O mundo está se tornando cada vez mais urbanizado e o número de pessoas que vivem nas cidades vem crescendo. Ao mesmo tempo, a comunicação digital está diminuindo distâncias ao conectar pessoas e instituições todos os dias. Neste contexto, a ideia de uma "cidade digital" torna-se naturalmente significativa.

Segundo Lemos [3], *“As cidades são sistemas complexos. Desde as primeiras necrópoles pré-históricas até as contemporâneas megalópoles, as cidades nascem, crescem e desenvolvem-se a partir de fatores sociais, culturais, políticos e tecnológicos. No século XVII, a ciência e a tecnologia tornaram-se importantes para o desenvolvimento do espaço urbano. A era industrial que se iniciou no século XVIII moldou a modernidade e criou uma urbanização planetária. Hoje, em pleno século XXI, as novas tecnologias de comunicação e informação imprimem novas marcas ao urbano. As cidades digitais são as cidades da globalização, onde as redes telemáticas fazem parte da vida cotidiana e constituem-se como a infra-estrutura básica e hegemônica da época”*.

A cidade digital, conhecida também por Cibercidade, Cidade Virtual, Município Digital ou Virtual, Cidade Eletrônica, Cidade Inteligente, entre outros, representa uma reprodução de diferentes cidades e emerge como uma das forças que contribuem para organização do espaço [4].

Em [5], Zancheti explica que o conceito de cidade digital não tem uma definição precisa, mesmo com o grande número de cidades digitais criadas a partir dos anos 90. De fato, encontramos muitas definições que variam conforme as características da comunidade que irá

acessar a cidade digital. Zancheti define cidades digitais como um sistema de pessoas e instituições conectadas por uma infra-estrutura de comunicação digital (a Internet) que tem como referência uma cidade real cujos objetivos são a criação de um espaço de manifestação política e cultural das pessoas e grupos, o desenvolvimento de canais de comunicação entre as pessoas e grupos, o desenvolvimento de canais de comunicação e negociação entre a administração municipal e os cidadãos, o favorecimento de uma maior identificação dos moradores e visitantes com a cidade referência e a criação de um acervo de informações das mais variadas espécies e de fácil acesso sobre a cidade referência.

A cidade digital definida por Graham [6] se baseia na visão de que a cidade digital pode servir de ferramenta para melhorar a comunicação entre os cidadãos e os governos locais, estimulando muitas atividades que promovem oportunidades aos cidadãos, conforme podemos identificar abaixo:

*“... As cidades virtuais são espaços eletrônicos, em geral com base na World Wide Web, que foram desenvolvidos para interligar, de forma explícita, as agendas de desenvolvimento de cada cidade. Tais cidades virtuais estão funcionando como ferramenta política para uma variedade de planos e objetivos urbanos: marketing urbano global, estímulo ao turismo de negócios e de consumo, melhoria das comunicações entre os cidadãos e os governos locais, aumento da competitividade das empresas locais, maior integração das economias locais e o renascimento do civismo e da cultura local”.*

Em [2], Komninos, define as cidades digitais como *“territórios com alta capacidade de aprendizagem e inovação, construídas pela criatividade de sua população, instituições de pesquisa e desenvolvimento, infra-estrutura digital de comunicação e gestão do conhecimento”*. Esse entendimento baseia-se no pressuposto de uma forte semelhança entre a cidade física e sua contrapartida digital, uma semelhança que vai além da imagem de espaço físico e inclui estrutura e características funcionais.

Nesta tese definimos cidade digital como *um espaço digital comunitário, construído sobre uma infraestrutura de comunicação digital e representado através de uma interface gráfica (portal web), visando facilitar e aumentar as atividades e funções que ocorrem no espaço físico da cidade*. Para nós as cidades digitais são construídas como uma rede de representações análogas da cidade por duas razões. Primeiro, os serviços digitais tem como referência uma

realidade física; e segundo, a representação digital serve de promoção de uma imagem ou funções urbanas.

As representações digitais análogas refletem tanto o espaço como as funções da cidade física. As aplicações de governo-eletrônico representam o governo local, as aplicações de educação-eletrônica representam as escolas, as aplicações de comércio-eletrônico representam o comércio e as lojas, as aplicações de saúde-eletrônica representam os serviços de saúde, e assim por diante. Através dessas representações e sua relação com a infraestrutura físico-urbana e de serviços, uma cidade digital pode informar e mediar operações reais de prestação de serviços, comércio, saúde, educação e governo.

Através deste estudo comparativo, identificamos que as arquiteturas das cidades digitais são orientadas a objetivos, com enfoque na informação, comunicação e prestação de serviços. No entanto, parece possível conceber uma arquitetura genérica para cidades digitais a partir da qual todas as combinações e modelos alternativos possam derivar. Desta forma, focamos nosso trabalho na proposta de uma arquitetura genérica para cidades digitais, baseada na utilização de tecnologias da informação e comunicação que permitam a concepção de um ambiente escalável, interoperável e capaz de promover a produção comercial, industrial e cultural local. Além de permitir o desenvolvimento e a transferência do conhecimento gerado pelo intercâmbio de informações.

### **1.3 Ambiente de Trabalho**

Para orientar as pessoas no funcionamento cotidiano de uma cidade digital, existem normas, métodos e costumes, que são considerados os fatores que determinam a filosofia de trabalho de uma cidade digital.

Esta filosofia está sujeita a variações ligadas aos diferentes elementos que a compõem. Em outras palavras, ela depende da infraestrutura, interoperabilidade, serviços e interfaces que lhe estejam disponíveis.

O ambiente escolhido para o desenvolvimento deste trabalho foi a rede metropolitana de acesso aberto da cidade de Pedreira (Infovia Municipal), abrangendo sua topologia, tecnologia, equipamentos e requisitos legais. Desenvolvida em 2007, a Infovia Municipal de Pedreira

consiste em uma infraestrutura principal, composta por um *backbone* óptico Gigabit Ethernet, complementado por células de acesso sem fio baseada nos padrões da IEEE 802.11 A e G.

Neste ambiente, desenvolvemos um modelo arquitetural para cidades digitais baseado na troca de mensagens de forma transparente entre o Portal Pedreira Digital e o Sistema de Governança Digital através de um *middleware* (*peer-to-peer*).

Dessa forma, garantimos a presença de elementos que podem ser considerados críticos a interoperabilidade de uma cidade digital.

## 1.4 Escopo

Muito tem sido escrito sobre esse tema na literatura, revelando que muitas cidades têm obtido sucesso ao adaptar as melhores práticas das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) nos seus planos estratégicos, a fim de se tornarem cidades digitais. O estudo destes casos permitiu identificar os modelos utilizados e a falta de uma arquitetura de referência para apoiar a formulação da estratégia digital.

Esta tese de doutorado propõe o desenvolvimento de uma arquitetura para cidades digitais, baseada em observações, análises e na percepção das reais necessidades, suprimindo uma lacuna existente.

Este estudo não pretende discutir a comparação das vantagens entre *make-or-buy*, ou seja, decidir se a solução de cidade digital seria fabricada pelo governo local ou adquirida de um fornecedor ou parceiro. O foco deste trabalho é documentar as condições e justificativas da criação de uma arquitetura para cidades digitais, não se importando com a autoria ou com o local do desenvolvimento.

Deve-se também destacar que a arquitetura proposta necessita de um período de customização em que as características individuais das cidades digitais são respeitadas, permitindo adaptações inerentes à sua flexibilidade. Destaca-se também que os aspectos de custos e prazos não serão apresentados neste trabalho, pois a atual velocidade de avanço científico mostra que o custo não tem limitado por muito tempo a utilização dos progressos tecnológicos, ou seja, os avanços são rapidamente popularizados devido à sua veloz queda de custo.

Uma discussão sobre prazo poderia acarretar uma série de diferentes pontos de vista e, desse modo, desviar a direção principal deste estudo. Sendo assim, pode-se dizer que esta pesquisa discute os principais pontos e aspectos na elaboração e na utilização de uma arquitetura para cidades digitais, sem levar em conta os prazos.

## 1.5 Objetivos e Contribuições

O objetivo desta tese é propor uma nova visão sobre as arquiteturas de cidades digitais. Através da análise das principais arquiteturas existentes e das tecnologias disponíveis, propomos o desenvolvimento de uma nova arquitetura para cidades digitais baseada em um *middleware* P2P.

Para o desenvolvimento desta arquitetura, definimos um conjunto de características mínimas necessárias para a elaboração de um ambiente computacional integrado que possibilita a interoperabilidade dos serviços que compõem as cidades digitais, através de redes de comunicação digital.

Buscando validar a arquitetura proposta para cidades digitais, desenvolvemos um estudo de caso para cidade de Pedreira. Neste estudo de caso, a arquitetura proposta permitiu a interoperabilidade entre o Portal Pedreira Digital (Portal Web) e o Sistema de Governança Digital (Sistema de Gestão) da Prefeitura de Pedreira através de um *middleware* P2P. Desta forma, proporcionamos a cidade digital de Pedreira vantagens, tais como: localização de serviços de forma transparente através da rede, interação entre serviços ou aplicativos, independência de plataforma e disponibilidade.

## 1.6 Estrutura da Tese

A tese aqui apresentada está dividida em seis capítulos. A “Introdução” (Capítulo 1) apresenta as motivações do trabalho, os assuntos que serão abordados e o ambiente de trabalho.

O capítulo 2 realiza alguns esclarecimentos sobre as tecnologias utilizadas no desenvolvimento da arquitetura proposta e os motivos que originaram sua escolha.

O capítulo 3, “Cidades Digitais”, trata de apresentar o tema de forma conceitual, diante de uma diversidade de arquiteturas disponíveis para cidades digitais. Comparamos quatro diferentes tipos de cidades na web, focando a arquitetura de dados, forma e funções.

O capítulo 4, “Arquitetura Proposta”, tem como objetivo apresentar um novo modelo organizacional para cidades digitais a partir do qual todas as combinações e modelos alternativos possam derivar.

O capítulo 5, “Protótipo”, descreve o estudo de caso desenvolvido para cidade de Pedreira e como as decisões sugeridas por essa arquitetura foram enviadas à área de produção e como foram postas em prática.

O capítulo 6, “Conclusões”, além de apresentar respostas para as questões do estudo, pretende focar algumas limitações do estudo, indicar de que modo o mesmo contribuiu para a área de investigação, procurando, também, apresentar pistas para futuras investigações.

Por fim apresentamos as referências bibliográficas.



## Capítulo 2

# Embasamento Teórico-Conceitual

Neste capítulo descrevemos os principais conceitos, modelos e tecnologias utilizadas no desenvolvimento deste trabalho. Ao apresentá-los, aproveitamos para discutir elementos que levaram a formulação da arquitetura proposta.

Este capítulo é dividido em duas seções principais. Na primeira seção, apresentamos uma definição simples de redes *peer-to-peer* (P2P), alguns procedimentos comuns de operação e os motivos que levaram a escolha desta tecnologia. Na segunda seção, tratamos da tecnologia *Juxtapose* (JXTA) e a sua concepção na solução dos problemas de computação distribuída, especialmente para tecnologia *peer-to-peer*.

### 2.1 Redes Peer-to-Peer

O termo *peer-to-peer* (P2P) é utilizado para definir redes digitais autônomas cujo controle é detido por todos os usuários/sistemas que atuam disponibilizando na rede todos ou parte de seus dados, bem como seu poder de processamento e outros recursos cabíveis de disponibilização [7].

Atualmente existe uma grande variedade de redes P2P, onde cada *peer* pode apresentar diferentes propriedades, sem um critério único de classificação. Vamos considerar vários métodos para classificá-los, buscando uma melhor compreensão.

De acordo com os diferentes mecanismos de consulta de objetos e topologia lógica P2P, uma arquitetura P2P pode ser classificada como centralizada, descentralizada mas desestruturada e descentralizada e estruturada. [8]

Na arquitetura centralizada todos os índices de objetos são mantidos em um servidor central com a forma  $\langle object-key, node-address \rangle$ . Cada nó precisa notificar o servidor sobre as informações dos seus objetos e um nó precisa apenas consultar o servidor de *peer* sobre os endereços dos objetos consultados. Este tipo de arquitetura P2P é simples e fácil de ser

implantada. Porém apresenta o problema da falha do ponto único, apesar de podermos usar vários servidores paralelos. O exemplo deste tipo de arquitetura é o Napster [9].

Já na arquitetura descentralizada e desestruturada, a consulta do objeto é distribuída, a topologia lógica P2P é aleatória e a malha desestruturada. A consulta é executada passo a passo, através desta malha até o sucesso/falha ou timeout. Este tipo de arquitetura, como o Gnutella [10], não apresenta o problema da falha de um ponto único, mas a eficiência da consulta pode ser reduzida.

E na arquitetura descentralizada e estruturada a consulta do objeto também é distribuída, mas a topologia lógica P2P está estruturada como malha [11, 12 e 13] ou anel [14]. Estas topologias estruturadas são geralmente construídas com técnicas de *Distributed Hash Table* (DHT), por exemplo [12, 13, 14 e 15]. A consulta também é executada passo a passo através da topologia estruturada.

Em [7], Wang Bo classifica as redes P2P atuais em três gerações, de acordo com o período em que foi implantada e o seu efeito. Na sessão 2.1.1 serão apresentadas as três gerações de redes P2P e suas características.

## **2.1.1 Evolução das Redes P2P**

### **2.1.1.1 Primeira Geração**

Popularizada pelo Napster, a primeira geração de redes P2P descreve um ambiente em que não se tem definido os papéis de cliente e servidor, podendo, dessa forma, qualquer *peer* da rede ser considerado cliente e também servidor. Criado com o propósito de compartilhamento de arquivos no formato mp3, o Napster teve uma rápida difusão.

O Napster, que é conhecido como um sistema de troca de músicas, e outros sistemas similares possuem uma atualização constante do diretório de objetos mantidos no servidor central. Funções como autenticar os *nós*, enviar as listas de arquivos oferecidos, em seguida, realizar consultas para saber quais os outros *nós* que possuem os arquivos desejados também fazem parte dos serviços executados pelo *nó* central. Os *nós* clientes escolhem o *peer* que possuem os arquivos

desejados e tentam abrir uma conexão. A figura 2-1 apresenta o modelo organizacional do Napster.

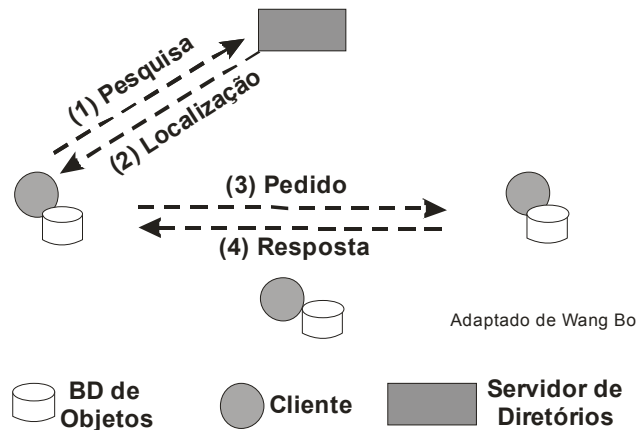


Fig 2-1: Modelo organizacional do Napster [7]

Embora a base de dados centralizada do Napster evite o encaminhamento de consultas, utilizada pelas redes P2P onde normalmente a busca é limitada aos nós mais próximos, a abordagem centralizada apresenta o problema da falha do ponto único e baixa escalabilidade. Outra característica desta arquitetura é suportar consultas parciais como, por exemplo, pesquisar todos os objetos cujo título contenha duas ou mais palavras específicas [9]. Para atingir esse critério o nome do arquivo deve conter todos os termos procurados. Sendo assim, uma consulta por “Caetano mp3” retornaria o arquivo “musicas\_caetano.mp3” e não retornaria “caetano.doc”. Desta forma, apenas os arquivos que possuem as duas palavras informadas na consulta seriam retornados.

### 2.1.1.2 Segunda Geração

A arquitetura da tecnologia P2P de segunda geração é caracterizada por uma rede em malha ou *mesh*, onde cada *peer* encaminha os pedidos de busca de *peer* em *peer* até que o arquivo seja encontrado. A segunda geração de redes P2P teve como principal objetivo resolver as questões de não centralização de índice e manter os conteúdos descentralizados.

Como exemplo, de arquitetura P2P de segunda geração, o sistema Gnutella não possui um diretório centralizado nem qualquer controle sobre a topologia da rede ou objetos. O Gnutella é, de fato, um sistema descentralizado para compartilhamento de arquivos, cujos participantes auto-organizam uma rede virtual estruturada na forma P2P para localizar arquivos distribuídos. Para participar do Gnutella, um primeiro *nó* deve se conectar a um *nó* Gnutella conhecido, para obter a lista de *nós* Gnutella existentes. Para encontrar um arquivo, um *nó* deve enviar requisições de consultas aos seus vizinhos. O método de consulta mais comum é a inundação, quando a requisição de consulta é transmitida a todos os vizinhos dentro de um raio determinado ou limitado pelo mecanismo *Time To Live* (TTL). Esta arquitetura desestruturada é resistente aos nós que surgem e somem da rede. No entanto, a pesquisa atual de inundação está baseada em um mecanismo escalável, gerando grande carga sobre os participantes da rede [10]. O mecanismo escalável de requisições é diferente do modelo de índice central, pois não se baseia na publicação dos recursos compartilhados. Ao invés disso, cada requisição de um *peer* é enviada para todos os *peers* diretamente conectados, os quais enviam para os *peers* diretamente conectados a eles, e assim sucessivamente até que a requisição seja respondida ou que ocorra o número máximo de encaminhamentos.

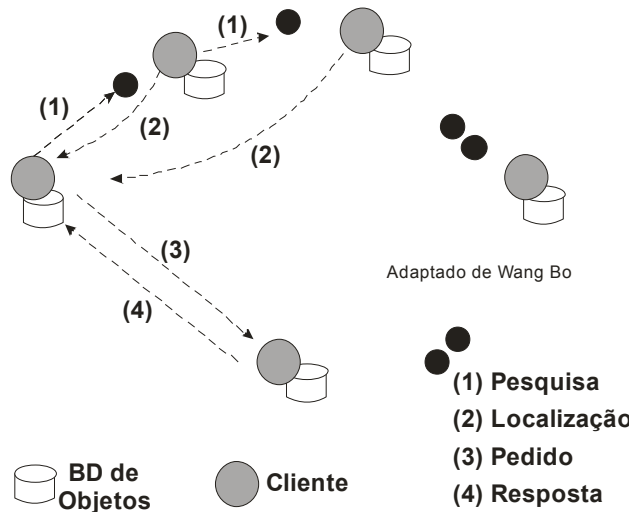


Fig 2-2: Modelo organizacional do Gnutella [7]

### 2.1.1.3 Terceira Geração

As redes P2P da terceira geração, em geral utilizam a técnica de *Distributed Hash Table* (DHT) para obter uma melhor escalabilidade e eficiência, através do balanceamento de carga e de buscas determinísticas. O objetivo das redes P2P atuais é fornecer alta resiliência assumindo que os *nós* terão baixa probabilidade de falha. As técnicas comumente usadas para fornecer resiliência incluem a replicação do objeto, ampliando o número de ligação entre *nós*, em algumas topologias estruturadas [16, 17 e 18].

Empenhada na resolução dos problemas do alto consumo de largura de banda, a terceira geração de redes P2P apresenta o conceito de DHT. O princípio básico destas redes de terceira geração é um roteamento em um espaço de nomes, em que as mensagens de roteamento são enviadas não mais para todos os vizinhos, como as da rede de segunda geração, mas para um *peer* específico, definido através de uma tabela de roteamento local e por algoritmos de eleição de próximo *peer*.

Este tipo de arquitetura não possui um servidor de diretório central, mas possui uma estruturação. Isto significa que a topologia da rede P2P é rigidamente controlada (como *mesh* [12] [13] ou anel [14]), e os arquivos não são armazenados em *nós* aleatórios, mas em locais específicos que permitirão as consultas de forma fácil e rápida. Os sistemas P2P estruturados normalmente suportam uma interface de tabela *Hash*, formando uma estrutura de dados especial, que associa chaves de pesquisa a valores. Assim, qualquer nó da rede poderá realizar uma busca rápida a partir de uma chave simples e obter o valor desejado. Esta técnica apresenta algumas vantagens como a pesquisa determinística, pesquisa do menor caminho e resistência a falha de ponto único [7]. As consultas são realizadas com a utilização de algoritmos de posicionamento precisos e protocolos de roteamento específicos como: *Plaxton*, *Tapestry*, *Pastry*, *Chord*, *CAN* e *Juxtapose* (JXTA).

#### **Plaxton**

No protocolo *Plaxton*, cada *nó* pode assumir as funções de servidor (armazenando objetos), roteador (transmitindo mensagens) e clientes (gerando solicitações). Os objetos e os *nós* possuem nomes independentes da sua localização e propriedades semânticas, na forma de tamanhos fixos e

seqüências de bits aleatórias, representados por uma base comum (por exemplo, 40 dígitos hexadecimais representando 160 bits). O sistema pressupõe que as entradas são distribuídas uniformemente em *nós* e objetos, podendo ser localizada utilizando a saída dos algoritmos de *hashing*, como SHA-1 (RFC3174). O protocolo *Plaxton* parte do pressuposto de que a malha é uma estrutura de dados estáticos, sem inserções e deleções de *nós* ou objetos [19].

### **Tapestry**

Em [12], Zhao apresenta o protocolo *Tapestry*, que é baseado também na auto-organização do sistema de roteamento e localização de objetos, como no *Plaxton*. A localização central e o mecanismo de roteamento são semelhantes aos do protocolo *Plaxton*. Porém, tem como objetivo melhorar a capacidade de detecção e recuperação de falhas, mantendo atualizado o conteúdo por meio de um mecanismo de *cache*.

Para detectar falhas nos servidores e enlaces durante as operações normais, o protocolo confia nos timeouts do *Transmission Control Protocol* (TCP). Além disso, cada *nó* usa *Backpointers* para enviar pulsos periódicos dos pacotes *User Datagram Protocol* (UDP) para os *nós vizinhos*. Ao verificar o ID de cada *nó*, são detectadas rapidamente tabelas defeituosas ou corrompidas.

O protocolo *Tapestry* atribui múltiplas raízes aos objetos, concatenando uma pequena seqüência de valores (por exemplo: 1, 2, 3) para cada objeto de identificação. O resultado *hash* identifica as raízes adequadamente. Estas raízes são usadas durante o processo de publicação para inserir a informações de localização do protocolo. Ao localizar um objeto, o protocolo realiza o mesmo processo de *hashing* com o ID do objeto de destino, gerando um conjunto de raízes de busca.

Este protocolo também suporta algumas operações dinâmicas, pois cada *nó* possui múltiplos *nós raiz* para evitar um ponto único de falha. Enquanto o protocolo *Plaxton* suporta somente operações estáticas, onde um *nó* possui apenas um *nó raiz*. Desta forma, o protocolo *Plaxton* garante a localização do objeto e a malha assume uma população estática de *nós*.

### **Pastry**

Em [13], Rowstron define o protocolo *Pastry* como um protocolo local semelhante ao protocolo *Tapestry*. As principais semelhanças incluem o uso de prefixo/sufixo nos endereços de

roteamento, algoritmos de inserção/deleção similares e custos indiretos de armazenamento. Existem algumas diferenças que distinguem o protocolo *Pastry* do *Tapestry*:

1. Os objetos são copiados sem o controle do proprietário. Após a publicação do "objeto", ele é replicado e as réplicas são enviadas a vários *nós nodeID*.
2. O protocolo *Pastry* assume que os clientes usam o *objectID* tentando aproximação com as rotas, onde réplicas dos objetos são mantidos. Além de distribuir réplicas reais em diferentes *nós* da rede, reduzindo a latência de localização, distribui o custo de sobrecarga no armazenamento em vários servidores.

### **Chord**

O protocolo *Chord* [14] é um serviço descentralizado de pesquisa baseado em P2P, que armazena pares de chave/valor para dados distribuídos. Atribuída uma chave, o *nó* responsável por armazenar o valor da chave pode ser determinado usando uma função *hash* que atribui um identificador para cada *nó* e para cada chave. O endereço IP de cada usuário pode ser mapeado para um número de  $m$  bits através de uma função *hash* consistente, como SHA-1. Desse modo, é possível converter qualquer endereço IP em um número de 160 bits chamado de identificador do *nó*. Cada chave  $k$  é armazenada no primeiro *nó* cujo identificador ID é igual ou segue  $k$  no espaço de identificação. Como podemos observar na figura 2-3, no protocolo *Chord* os *nós* ativos formam uma topologia P2P em anel.

Cada *nó* mantém uma tabela de roteamento com informações apenas sobre  $O(\log_2 N)$  *nós*. As mensagens sempre avançam em pelo menos um *nó*, levando  $\log_2 N$  passos para a mensagem percorrer esta distância restante. O tempo de roteamento total esperado para localizar um *nó* é, portanto,  $O(\log_2 N)$ .

Na verdade, o protocolo *Chord* é semelhante a uma busca binária, onde o espaço de busca é reduzido pela metade depois de uma pesquisa *routing-hop*. Assim, o número de *nós* que devem ser consultados para resolver uma pesquisa em uma rede  $N$ -*nós* é  $O(\log_2 N)$ .

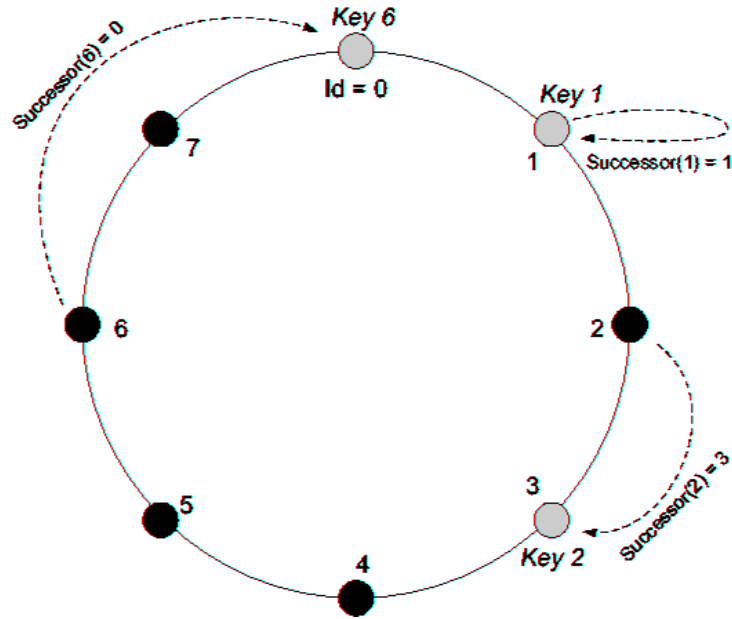


Fig 2-3: Arquitetura Chord [14]

## CAN

O protocolo *CAN* (*Content Addressable Network*) [15] é um serviço de pesquisa P2P distribuído e estruturado. Cada chave será um *hash* uniforme em um ponto de espaço  $d$ -dimensional como seu identificador. Na união dos nós, será selecionado de forma aleatória um ponto de espaço  $d$ -dimensional. Este ponto é responsável por manter todas as chaves cujas identificações pertençam a esta região. Por exemplo, ao iniciar a operação da rede, o nó  $n1$  será responsável por todo o espaço/território. O início da operação do segundo nó  $n2$ , permite a divisão de toda a região em duas partes, tornando o nó  $n2$  responsável por uma delas. Da mesma forma, o início de operação do terceiro nó  $n3$ , dividirá a região  $n1$  (se o ponto aleatório selecionado pertencer a esta região) ou região  $n2$  (caso contrário) em duas partes, se tornando responsável por uma delas também. Cada nó manterá o ID do seu nó vizinho e o roteamento será realizado pelo encaminhamento dos pedidos as regiões mais próximas da posição da chave. Como podemos observar na figura 2-4, o nó  $D$  era responsável pela região  $0.5-1.0 / 0.5-1.0$  do território. O início da operação do nó  $E$  permite a divisão da região  $D$  em duas partes, tornando o nó  $E$  responsável por uma delas. Assim, a região do nó  $D$  ficou  $0.5-0.75 / 0.5-1.0$  e a região do nó  $E$  ficou  $0.75-1.0 / 0.5-1.0$ .



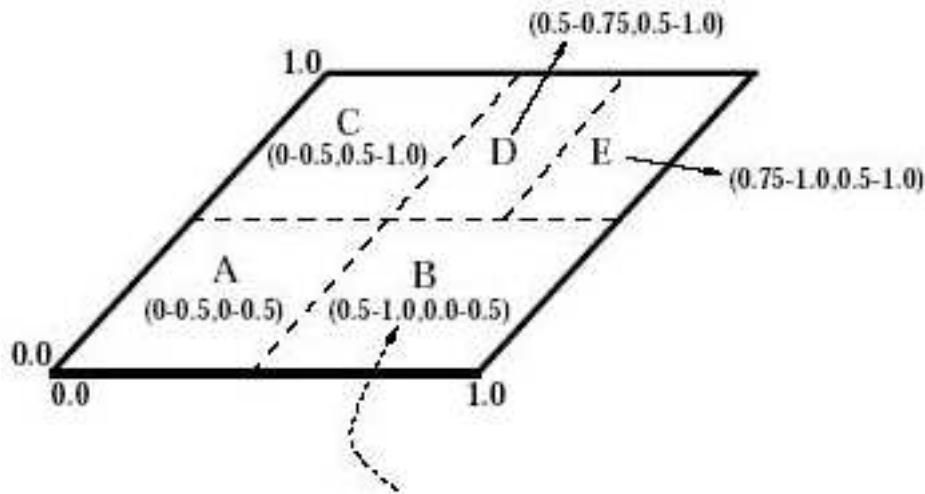


Fig 2-4: Arquitetura CAN [15]

### Juxtapose (JXTA)

O protocolo *Juxtapose* (JXTA) é uma especificação independente de linguagem e plataforma para as redes P2P, possibilitando a comunicação entre dispositivos sem considerar sua localização física e tecnologia de rede no qual se encontram instalados. É uma plataforma livre, criada pela Sun Microsystems em 2001. O protocolo JXTA está baseado no modelo DHTs e utiliza um modelo de organização em torno de uma rede distribuída de *nós mestres* (*peers*) denominados *rendezvous peers* [20].

O protocolo JXTA foi adotado para desenvolvimento do *middleware* das cidades digitais nesta tese, pois possui um conjunto de objetivos derivados das lacunas deixadas pelos sistemas P2P existentes ou em desenvolvimento, como: interoperabilidade, independência de plataforma e ubiquidade. Estas características serão mais bem descritas na sessão 2.2.

#### 2.1.2 Porque Peer-to-Peer

A tecnologia P2P vem estampando capas de revistas como a Red Herring [21] e Wired [22]. A revista Fortune [23] apontou a tecnologia, como uma das quatro tecnologias que irão moldar o futuro da Internet.

Em [20], Gong apresenta três valiosos ativos da Internet: informação, largura de banda e recursos computacionais, todos não são amplamente utilizados, em parte devido ao modelo tradicional cliente-servidor. O modelo cliente-servidor tradicional apresenta problemas de escalabilidade e confiabilidade. A escalabilidade será comprometida devido ao aumento no número de usuários, gerando uma maior demanda pelos recursos computacionais, espaço de armazenamento e largura de banda, associada com o lado servidor. Já a confiabilidade é comprometida, pois todas as requisições deverão passar por servidores sobrecarregados.

A adoção da tecnologia P2P para o desenvolvimento da arquitetura proposta para cidades digitais está baseada nos mecanismos de localização e catalogação das informações e serviços regionais distribuídos, na distribuição do tráfego de dados, de produtos e de serviços locais através de redes digitais regionais e no compartilhamento e distribuição dos dados.

Os motores de busca simples ou portais não suportam localizar e catalogar a grande quantidade de informações disponíveis na Internet. Além disso, uma enorme quantidade de informação é transitória e não está sujeita a localização por meio de técnicas tradicionais, tais como o rastreamento. Assim sendo, encontrar informações locais úteis em tempo real está cada vez mais difícil. A adoção da tecnologia P2P na arquitetura das cidades digitais permite o desenvolvimento de mecanismos de localização e catalogação das informações e serviços regionais distribuídos. Os mecanismos de busca P2P estão baseados em índices distribuídos e repositórios, onde os nós da rede contêm o índice de arquivos local e o índice de arquivos armazenados nos pares vizinhos. Desta forma, a tecnologia P2P fornece o melhor desempenho e a melhor escalabilidade assim como uma grande tolerância à falha de um único ponto, pois o *nó* apenas contém uma quantidade relativa de índices muito pequenos se comparado com o modelo centralizado, então se um *nó* “cair” a rede continuará funcionando apropriadamente.

Mesmo com quilômetros de novas fibras instaladas, os usuários continuam a utilizar, em sua maioria, sites como Yahoo para conteúdo e o eBay para leilões, concentrando o tráfego da Internet em determinados pontos. Desta forma, a maioria dos cidadãos ainda sente os efeitos da Internet congestionada. O desenvolvimento das cidades digitais baseada em uma arquitetura P2P deverá distribuir o tráfego de dados, produtos e serviços locais serão consumidos através de redes digitais regionais.

O armazenamento de dados continua focado em soluções como *Data Centers*, aumentando sua carga de trabalho, espaço e consumo de energia. Já uma cidade digital P2P está baseada no

compartilhamento e na distribuição dos dados em tempo real, gerando uma grande economia de processamento, espaço e consumo de energia.

Além de melhorar o desempenho de pesquisas, aquisição de conteúdos e processamento de dados, pode também melhorar a confiabilidade e tolerância a falhas dos sistemas de computação.

## 2.2 JXTA

A arquitetura *Juxtapose*, usualmente chamada por seu nome mais curto, JXTA, foi inicialmente proposta pela *Sun Microsystems* e tem como padrão a criação de um modelo de rede virtual sobre um modelo físico já existente, usualmente TCP/IP. A arquitetura JXTA foi inicialmente orquestrada para criar e gerenciar uma plataforma P2P que seja independente do sistema operacional, linguagem de programação, protocolo de transporte e dispositivo de acesso [20].

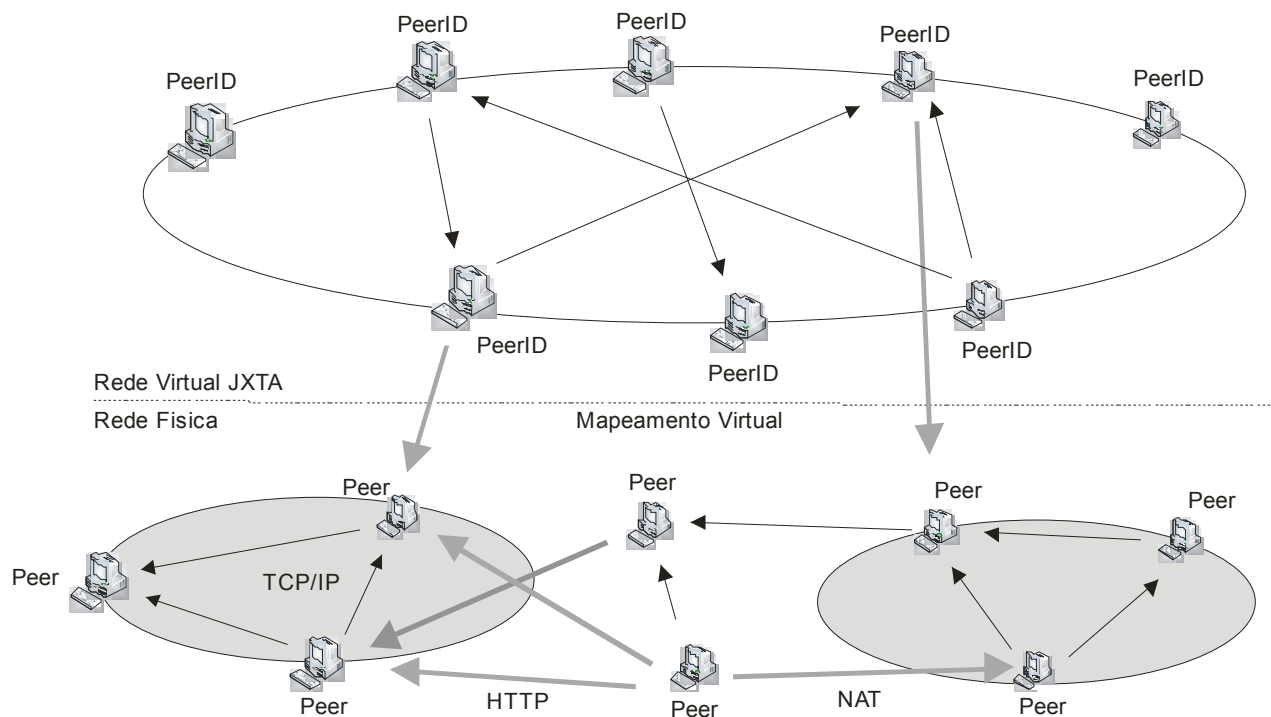


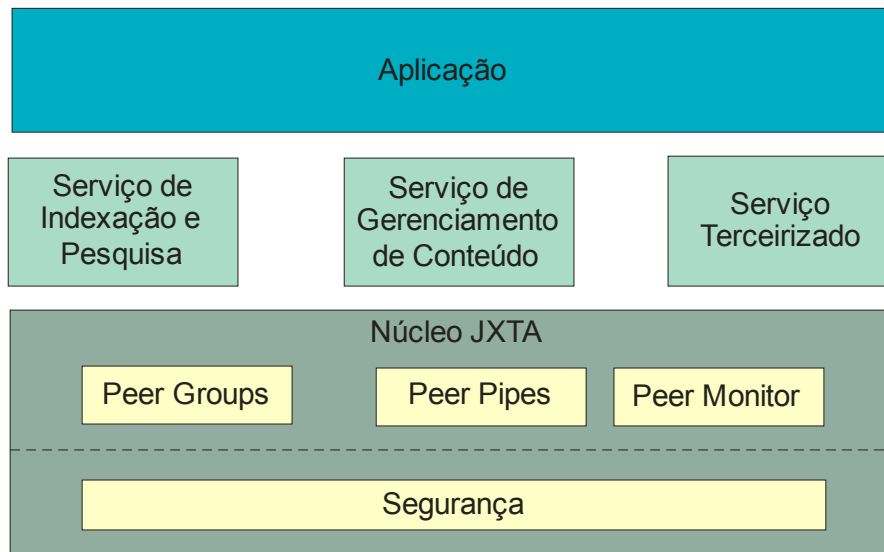
Fig 2-5: Representação de uma rede JXTA [20]

Este modelo virtual de rede permite a interação entre todos os *peers* da rede. Uma vez disposto em um ambiente que utiliza protocolo *Network Address Translation* (NAT) ou que é protegido por Firewall, o *peer* utiliza de recursos de tunelamento para que o serviço disponibilizado possa ser acessível à *peers* dispostos fisicamente no interior de outras sub-redes TCP/IP [20]. A figura 2-5 esboça um modelo de disponibilização de *peers* sobre um ambiente TCP/IP. Neste modelo, um *Pipe ponto-a-ponto* interliga as duas extremidades como um canal unidirecional e assíncrono: a extremidade do *Input Pipe* recebe as mensagens enviadas a partir da extremidade do *Output Pipe*.

Outro recurso na arquitetura JXTA é a possibilidade de formações de grupos de trabalho para melhor gerência de recursos e de acesso.

O Projeto JXTA conta com diferentes implementações em diferentes linguagens de programação, como: C++, Java, Perl, Python e SmallTalk. Para o desenvolvimento deste projeto, foi utilizada a linguagem JAVA, devido a maior disponibilidade de documentação da plataforma.

Ilustrada na figura 2-6, a arquitetura JXTA também comumente denominada Framework JXTA, é constituída por três camadas simples: núcleo, serviço e aplicação.



**Fig 2-6: Arquitetura do Framework JXTA**

O núcleo é responsável por encapsular todas as mínimas e essenciais primitivas para a construção de uma rede overlay *peer-to-peer* através do Framework JXTA. Na camada de núcleo

encontram-se implementações como *Peers Group*, *Peers Pipe*, *Peers Monitoring*, *segurança* e *modelos de transporte* (incluindo soluções para trabalhar com o protocolo NAT e Firewalls).

A camada de Serviço provê serviços de rede que podem não ser realmente necessários para a criação de uma rede *overlay* P2P. Porém, estes serviços poderiam ser desejados para a construção de determinadas aplicações como: serviço de arquivo distribuído, serviço de indexação e diretórios, sistema de armazenamento, e outros provenientes dos grupos de aplicativos para sistemas distribuídos.

A camada de aplicação, em que o usuário do sistema interage como a rede, contém a implementação e integração de aplicações como: mensagem instantânea entre *peers*, compartilhamento de recursos e arquivos, sistema de e-mail, etc.

### **2.2.1 Conceitos Básicos**

Todos os recursos de uma rede JXTA são descritos em forma de um *Advertisement*, que é uma linguagem neutra, estruturada como meta-dados e representada em documentos *Extensible Markup Language* (XML). Devido ao fato que os *advertisements* podem ficar obsoletos, foi definido que estes possuem um tempo de vida. Por esta característica, todo *advertisement* deve ser publicado periodicamente, onde o período de publicação é influenciado pela distância e a largura de banda. Caso a publicação não ocorra o recurso será excluído da rede JXTA.

#### **2.2.1.1 Peer**

Em [24], Théodoloz define um *peer* como um dispositivo da rede *overlay* que executa um ou mais protocolos da rede virtual JXTA. Identificado unicamente por um ID gerado através da execução de funções *hash*, o *peer* pode assumir três formas diferentes: *Edge peer*, *Rendezvous peer* e *Relay peer*.

Qualquer dispositivo da rede JXTA que tem como característica o não envolvimento com o roteamento. Eles são considerados instáveis devido a alta frequência com que entram e saem da rede. Por isso, podem apenas fornecer e utilizar serviços diversos disponibilizado na rede JXTA.

Ao contrário dos *edges peers*, os *rendezvous peers* tem como função principal o roteamento. Sendo considerado um *peer* estável, podem também atuar como *edge peer*. Tais quais os roteadores das redes que utilizam a topologia TCP/IP, alguns *rendezvous peers* podem sair da rede e posteriormente retornar sem provocar interrupções na utilização da rede.

Quando um *peer* entra em uma rede JXTA, ele possui a característica de decidir sobre seu tipo de atuação (como *edge peer* ou *rendezvous peer*). Este direito adquirido na inserção do *peer* perdura por todo o período em que este estiver ativo na rede, permitindo assim a mudança contínua de papéis ou até mesmo a utilização dos dois papéis ao mesmo tempo.

Os *relays peer* mantêm informações sobre rotas para outros *peer* imersos em um ambiente cujo perímetro é delimitado pelo uso de protocolo NAT ou de um Firewall. Como podemos observar na figura 2-7, para conectarem-se à rede, os *peers* imersos nestes tipos de ambientes conectam-se a um *relay peer*, que proverá o transporte de mensagem para o destino e do destino para o *peer*.

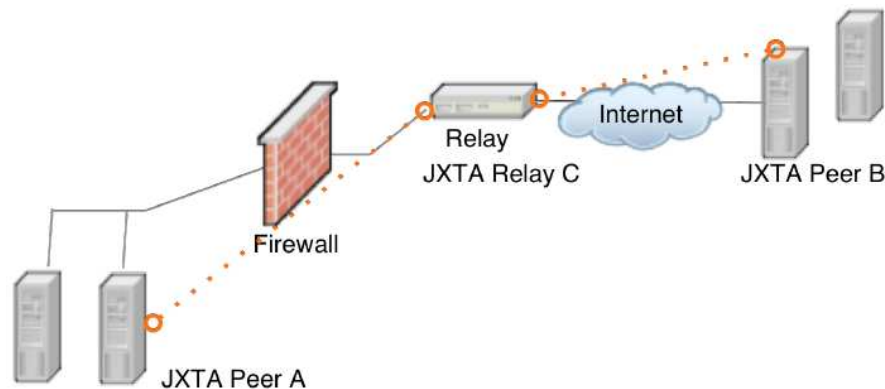


Fig 2-7: Relação de Comunicação quando em um Ambiente com Firewall [24]

### 2.2.1.2 Peer Pipe

Um *pipe* é um canal de comunicação virtual assíncrono e unidirecional utilizado para conectar *peers* sem necessidade de um link físico direto. Cada *pipe*, segundo sua função, pode ser classificado de duas formas básicas: *Input Pipe* e *Output Pipe* [24].

O *input pipe* tem como única função verificar a existência de mensagem para o *peer* que contém o ID do destino igual ao ID especificado para o *pipe*. Já o *output pipe* tem como função

enviar as mensagens para um ou mais *pipes*. As conexões de *input* e *output pipe* do framework JXTA possuem as seguintes categorias: *Pipe ponto a ponto*, *Pipe propagador* e *Pipe unicast seguro*.

Os *pipes ponto a ponto* têm por objetivo conectar dois *peers* diretamente, ao contrário do *pipe propagador*, que envia mensagens broadcast. O *pipe unicast seguro*, tal qual o *pipe ponto a ponto*, fornece à rede JXTA um canal de comunicação entre dois *peers*, porém com uma pequena diferença: o canal criado pelo *pipe unicast seguro* envia mensagens cifradas entre os *peers*.

### 2.2.1.3 Peer Group

Um *peer group* é um conjunto de *peers* que tem como agregado um conjunto de serviços comuns [24]. Todo *peer group* além de agregar *peers* como membros, pode escolher qual é sua política de aceitação de novos membros.

Outro ponto importante quando se trata de *peers* e *peers group* é o recurso de multi-conexão que os *peers* possuem, podendo assim, estar em vários *peers group* simultaneamente. Quando um *peer* inclui-se pela primeira vez em uma rede JXTA, este é adicionado em um grupo denominado *Net Peer Group*, que corresponde ao grupo principal da rede JXTA. Com o passar do tempo o *peer* pode decidir entrar em outro grupo e continuar também no grupo que estava, ou simplesmente deixar de participar do grupo que estava e estabelecer uma única conexão em um grupo.

## 2.2.2 Organização das Redes P2P

A arquitetura JXTA disponibiliza serviços de indexação e roteamento. Para prover este tipo de serviço a rede conta com três modelos de organização [25]: *Rendezvous Peer View* (RPV), *Shared Resource Distributed Index* (SRDI) e *Randon Walker* (Walker).

O modelo *RPV* corresponde a uma lista de *rendezvous peers* ordenados pelo ID. Neste modelo, cada *rendezvous peer* mantém sua própria *RPV*, que contém, em um caso ótimo, todos os outros *rendezvous peer* da rede. Porém na maioria dos casos, os *rendezvous peer* contam somente com parte dos índices dos outros *rendezvous peer* presentes na rede.

Este tipo de mapeamento torna possível a ocorrência de inconsistência entre *rendezvous peer*, já que os mesmos podem possuir diferentes *RPVs*. Para prover a consistência, os *rendezvous peer* fazem uma troca contínua de mensagens, passando alguns *advertisements* aleatórios de sua lista de *rendezvous peer*. Quando um *advertisement* de um *rendezvous peer* ultrapassa seu tempo de vida útil e não há uma nova publicação, este *rendezvous peer* é automaticamente retirado da rede e conseqüentemente das listas *RPVs* dos *peers*.

O *SRDI* é utilizado para fins de mapeamento de índices de recursos na rede. Este recurso é utilizado em duas ocasiões. A primeira ocorre durante a publicação de um *advertisement* de *peer*. O segundo modo de utilização do recurso *SRDI* é durante uma busca consistente a um recurso na rede.

A busca *Randon Walker* é utilizada para roteamento quando nenhuma informação sobre índices buscada foi encontrada.

### **2.2.2.1 Serviço de Indexação**

Para que haja a publicação de um novo recurso ou *edge peer*, é necessário primeiramente que o *edge* responsável pelo recurso conheça um *rendezvous peer*, que servirá de meio de acesso à rede.

Durante a conexão do *rendezvous peer* e o *edge peer*, será criado e armazenado um *advertisement* do serviço publicado. Em seguida, o serviço *SRDI*, que fica constantemente procurando novas publicações de recursos, ao encontrar o novo *advertisement*, informa seu valor *hash* e o envia para o *rendezvous peer* em que o *edge* está conectado.

Recebido o *advertisement*, o *rendezvous peer* insere este em sua tabela de índices e faz o cálculo para saber qual é o índice da tabela *RPV* que contém o *rendezvous peer* responsável pela indexação do valor *hash* do *advertisement*.

Com base no cálculo, o *rendezvous peer* verifica em sua tabela *RPV* quem é o responsável. Caso o *rendezvous peer* responsável seja ele próprio, é requisitado para os dois vizinhos no espaço de nomes que publiquem este *advertisement* em suas tabelas de índices, caso contrário é requisitado um novo pedido de publicação para o *nó* cuja posição na *RPV* do *rendezvous peer* seja igual o valor retornado do cálculo feito em cima do valor *hash* do *advertisement*.



Para facilitar a compreensão da indexação no framework JXTA, descrevemos passo a passo a indexação de um *advertisement* de um serviço em uma rede JXTA representada na figura 2-8. Para este exemplo, considere o *advertisement* já criado e armazenado no *edge peer* E12.

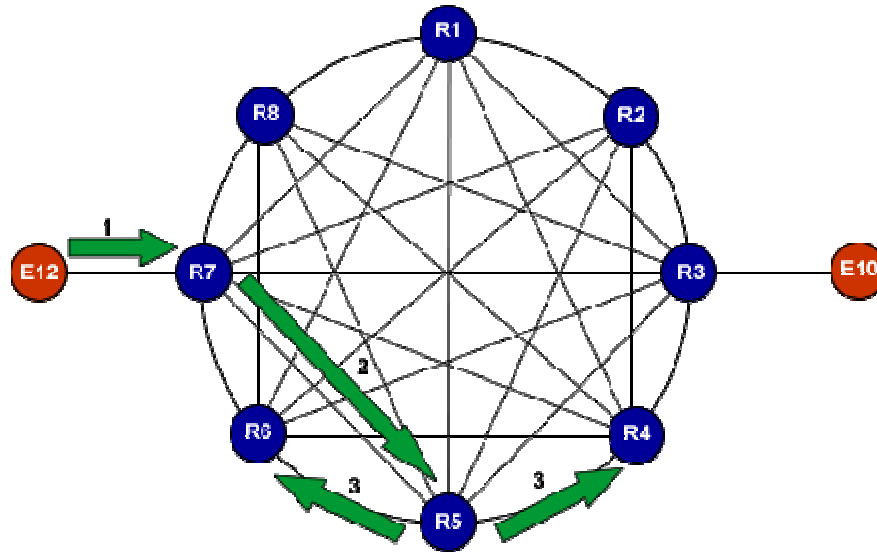


Fig 2-8: Indexação de Serviço JXTA

1. O *SRDI* encontra um novo *advertisement* do *edge peer* E12, calcula o valor *hash* e envia o identificador e localizador (valor *hash*, E12), para ser publicado no *rendezvous peer* R7 (local em que o *peer* E12 está conectado).
2. O *rendezvous peer* R7 grava em sua tabela de índices o valor *hash* calculado pelo *edge peer* E12 e faz o cálculo para saber quem é o *rendezvous peer* contido em sua tabela *RPV* que deve armazenar o valor *hash* recebido. Como o cálculo feito aponta o *rendezvous peer* R5 como responsável. É enviada então, para o R5, uma requisição de indexação do valor *hash* do serviço do *edge peer* E12.
3. Tal qual o *rendezvous peer* R7, o R5 salva em sua tabela de índices o valor *hash* e realiza também realiza o cálculo para descobrir quem será o *rendezvous peer* responsável por indexar este valor. O *rendezvous peer* R5 descobre que o responsável é

o próprio, então são enviadas mensagens para seus dois vizinhos no espaço de nomes requisitando a indexação do valor *hash* do serviço do *edge peer* E12.

4. Os vizinhos no espaço de nome de *rendezvous peer* R7, salvam em suas tabelas de índices o valor *hash* do recurso e finalizam o serviço de indexação.

### 2.2.2.2 Roteamento com busca consistente

Uma vez realizada uma publicação com sucesso em uma rede estável, a busca pelo recurso publicado se dá de forma consistente. Em uma busca consistente em uma rede JXTA, qualquer *edge peer* da rede é encontrado com somente quatro requisições (*hops*).

A primeira requisição é gerada por um *edge peer* que envia um pedido de busca para o *rendezvous peer* ao qual se encontra conectado, tentando assim, obter o localizador de um *edge peer* ou algum serviço específico contido na rede.

O *rendezvous peer* que recebe a requisição, realiza o mesmo cálculo executado para a indexação, buscando encontrar em qual posição do seu *RPV* está o *rendezvous peer* que contém o índice do serviço ou *edge peer* procurado.

Encontrado o *rendezvous peer*, a requisição é redirecionada. O *rendezvous peer* de destino ao receber a requisição, verifica sua tabela de índice e encaminha uma nova requisição, para o *peer* procurado. Isto ocorre, devido ao vínculo entre o índice e o localizador do *peer* realizado pelo *rendezvous peer*.

O *edge peer* que recebe a requisição analisa e verifica se o *peer* requerente tem autorização para entrar em contato, em caso positivo será enviada uma mensagem para o *peer* informando o próprio localizador, assim os *peers* podem criar uma conexão ponto a ponto.

A figura 2-9 ilustra a realização de uma busca consistente para localizar o *advertisement*, publicado e indexado. Para um melhor entendimento, foram descritas passo-a-passo as etapas da busca consistente na localização do *advertisement*.

1. O *edge peer* E10 faz uma requisição para o *rendezvous peer* R3 procurando um *advertisement* que se encontra no *edge peer* E12.

2. O *rendezvous peer* R3 realiza o cálculo e descobre que o responsável pela indexação do *advertisement* é o *rendezvous peer* R5, então redireciona a requisição para o destino (*rendezvous peer* R5).
3. Como o *rendezvous peer* R5 mantém na tabela de indexação o índice do *advertisement* e a localização do *peer* que contém o mesmo, a requisição é repassada diretamente para *edge peer* E12.
4. O *edge peer* E12 recebe a requisição e verifica que o *edge peer* E10 tem acesso ao serviço, então encaminha uma mensagem direta para o *edge peer* E10. A partir deste ponto pode haver a criação de uma conexão ponto a ponto entre os dois *edges peer*.

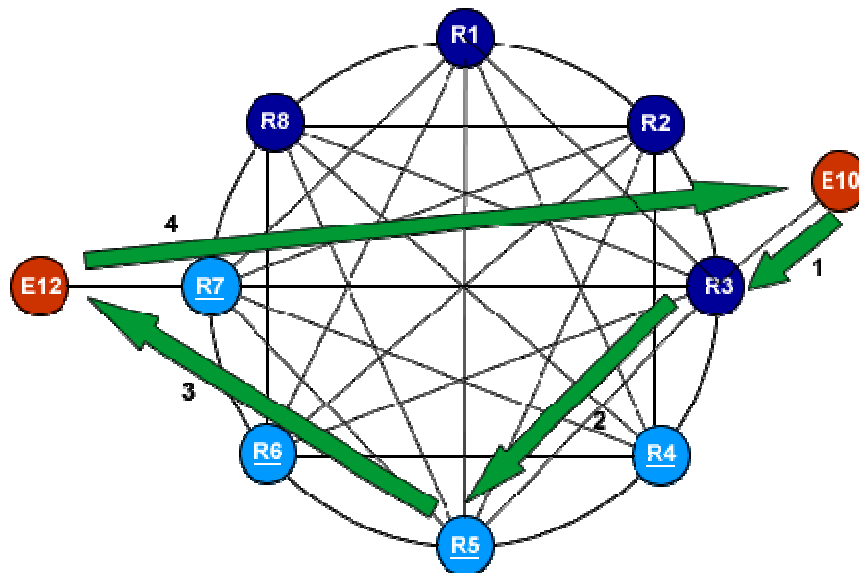


Fig 2-9: Busca Consistente

### 2.2.2.3 Roteamento com busca Random Walker

Embora a busca consistente em uma rede JXTA necessite de apenas quatro requisições para retornar o resultado, há casos em que um determinado dado não pode ser encontrado apenas com

uma busca consistente. Este tipo de falha pode ocorrer por parada, omissão ou degradação do desempenho. Neste caso, o framework JXTA fornece para os usuários outro tipo de busca, a busca *Random Walker*.

A busca *Random Walker* consiste em uma seqüência de requisições propagadas por *rendezvous peer*, na qual cada *rendezvous peer* faz uma requisição para seu vizinho no espaço de nome, pelo qual a requisição não tenha ainda sido processada.

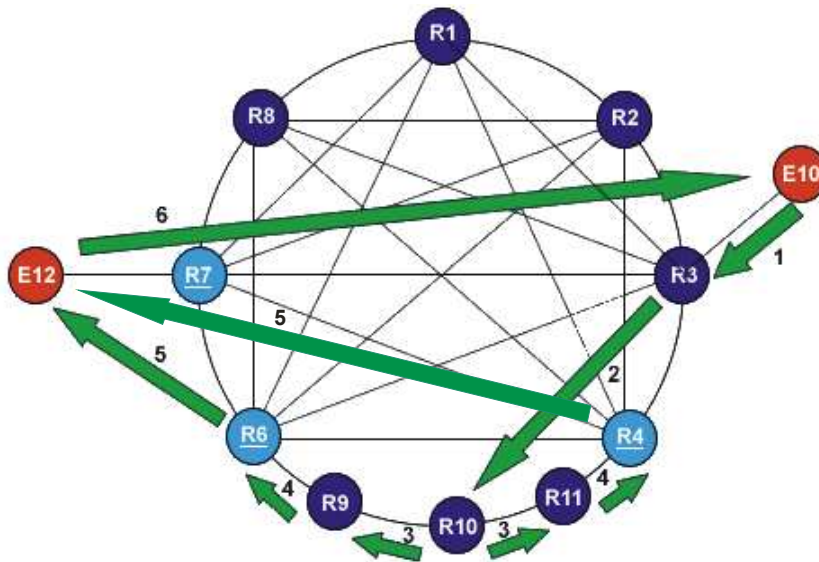


Fig 2-10: Busca Random Walker

Na figura 2-10 é apresentada uma seqüência numerada e detalhada das requisições feitas pelos *rendezvous peers*, para encontrar um *advertisement*. Considere neste exemplo que o *rendezvous peer* responsável pelo índice do *advertisement* (R5) saiu da rede e que entraram três novos *rendezvous peer* (R9, R10 e R11).

1. O *rendezvous peer* R3 faz o cálculo e descobre que o responsável pela indexação do *advertisement* é o *rendezvous peer* R10, então repassa a requisição para ele.

2. Como na tabela de índices de *R10* não contém nenhum índice que corresponde à chave pública passada, este envia uma requisição de busca para seus dois vizinhos no espaço de nome (*R9*, *R11*).
3. Os vizinhos *R9* e *R11* procuram em sua tabela de índices e também não encontram nenhuma entrada correspondente à chave pública, então encaminham a mensagem para seus vizinhos no espaço de nomes que ainda não processaram a requisição (*R6* e *R4*).
4. Os *rendezvous peers* *R4* e *R6* recebem a requisição, estes então, buscam em suas tabelas de índices e encontram a entrada correspondente ao *advertisement* procurado. Após valores encontrados, os *peers* (*R4* e *R6*) repassam a requisição para o *edge peer* *E12*.
5. O *edge peer* *E12* recebe as duas requisições, descarta uma, pois ambas possuem o mesmo ID. *E12*, então, verifica que o *edge peer* *E10* tem acesso ao serviço, encaminhando em seguida uma mensagem. A partir deste ponto pode haver a criação de uma conexão ponto a ponto entre os dois *edges peer*.

No item 5, as duas requisições chegaram a *peers* que continham a chave. Caso isso não ocorresse, a requisição circularia pela rede até que o *peer* fosse encontrado, ou número de passos fosse maior que o definido, ou ainda, o próximo vizinho fosse um *rendezvous peer* que já processou a requisição.

#### 2.2.2.4 Convergência da tabela RPV

Para fruto de controle e maior desempenho durante o roteamento, cada *rendezvous* da rede JXTA possui uma tabela ordenada de *randezvous peers* conhecidos. Denominada *Rendezvous Peer View* (RPV), estas tabelas tendem a se tornar uma tabela de representação de um grafo completo, onde para cada *randezvous* de entrada possui um número de *randezvous* conhecido igual a  $N-1$ , onde  $N$  é o número de *randezvous* na rede.

Devido ao tempo de vida dos *advertisements* dos *randezvous* e a necessidade constante de trocas de mensagens de controle entre *randezvous*, a convergência total da tabela de *randezvous* se torna inatingível para grandes quantidades de *peers*. Esta convergência somente ocorrerá quando houver troca consistente de índices. Em [26], é apresentado um estudo detalhado baseado em benchmarks, em que é descrita a impossibilidade da convergência da RPV em um grafo completo em redes com mais de 155 *randezvous peers*.

### **2.2.3 Porque JXTA**

O framework JXTA possui um conjunto de objetivos derivados das lacunas deixadas pelos sistemas P2P existentes ou em desenvolvimento, como: a interoperabilidade, independência de plataforma e a ubiquidade. Nas próximas sessões, detalhamos como estes objetivos foram tratados pelo protocolo JXTA.

#### **2.2.3.1 Interoperabilidade**

Alguns sistemas P2P são construídos para oferecer um único tipo de serviço. O *Napster*, por exemplo, oferece compartilhamento de arquivos de música, enquanto o *Gnutella* oferece o compartilhamento de arquivos genéricos e o AIM disponibiliza mensagens instantâneas. Dadas as diversas características destes serviços e a falta de uma infraestrutura comum cada fornecedor de software P2P tende a criar soluções próprias e isoladas.

O framework JXTA derruba essas fronteiras, permitindo a interoperabilidade de *peers* em diferentes comunidades, mesmo em diferentes sistemas P2P.

#### **2.2.3.2 Independência de Plataforma**

Muitos sistemas P2P oferecem seus recursos ou serviços através de um conjunto de *Application Programming Interfaces* (APIs), executados em um determinado sistema operacional sobre um protocolo específico de rede. Por exemplo, um sistema P2P pode oferecer um conjunto

de APIs C++, através do sistema operacional Windows, sobre o protocolo TCP/IP, enquanto outro sistema P2P oferece uma combinação de APIs C e Java, rodando em uma variedade de sistemas UNIX, sobre os protocolos TCP/IP e HTTP. Desta forma, uma solução P2P é forçada a escolher qual conjunto de APIs deverá utilizar, e conseqüentemente, qual conjunto de clientes P2P deseja atender. Não sendo possível a interação entre plataformas distintas, deverá ser desenvolvido um serviços para cada sistema P2P ou uma ponte (sistema) entre eles. Ambas as abordagens são ineficientes e pouco práticas, considerando as dezenas de plataformas P2P existentes.

O framework JXTA foi projetado independente de linguagens de programação (como C ou Java), sistemas operacionais (como Microsoft Windows ou UNIX) e plataformas de rede (como TCP/IP ou Bluetooth).

### **2.2.3.3 Ubiquidade**

Os sistemas P2P, especialmente aqueles que estão sendo oferecidos pelas novas empresas, tendem a escolher o sistema operacional Microsoft Windows como plataforma de implantação. A razão para esta escolha é a maior base de clientes e o caminho mais rápido para o lucro. O resultado é a dependência de características específicas do sistema operacional.

O framework JXTA foi projetado para ser utilizado em todos os dispositivos com tecnologia digital, incluindo sensores, roteador de rede, *Personal Digital Assistants* (PDAs), estações de trabalho, notebooks e celulares, ou seja, um mundo onde cada *peer*, independente da plataforma de hardware e software, possa se beneficiar de estar conectado a milhões de outros *peers*.

### **2.2.4 Por que não Web Services**

As tecnologias Web Services e JXTA abordam diferentes problemas, quando somente os objetivos de alto nível dos projetos são considerados. Mas, a crescente comparação e as opiniões contraditórias quanto à relação entre estas duas tecnologias, questionando se a tecnologia JXTA complementa Web Services, JXTA estende Web Services, JXTA substitui Web Services ou ainda

se JXTA e Web Services irão convergir. Levaram-nos a discutir nesta sessão, os principais motivos e problemas que originaram a escolha da tecnologia JXTA.

#### **2.2.4.1 Domínios de Problemas**

Web Services e JXTA surgiram aparentemente de diferentes domínios de problemas. A tecnologia Web Services procura externalizar e modularizar as funcionalidades de uma determinada aplicação como serviços publicados na Internet. A introdução de Web Services permite o desenvolvimento de aplicações distribuídas não apenas intra-empresa, mas também inter-empresa.

O JXTA, por outro lado, é uma tecnologia P2P, com foco no uso coletivo eficiente da Internet. O processamento coletivo ligado à Internet supera os problemas de largura de banda e navegação, ocasionadas pela utilização de endereçamentos comuns e repositórios congestionados. Simplificando, os métodos comuns de endereçamento da Internet (Servidores, Data Center e Portais de Buscas) não estão proporcionalmente dimensionados ao crescimento da Internet. As redes P2P pretendem resolver isso utilizando a cooperação de *Peers* para realizar vários serviços. Os desafios de como conectar os prestadores e consumidores de serviços através da Internet e como liberar o uso de serviços da dependência de plataforma, tais como sistemas operacionais, linguagens de programação e os meios proprietários de invocar procedimentos em máquinas remotas, surgem para ambas às tecnologias.

Embora os domínios de problema pareçam diferentes, os principais problemas que devem ser resolvidos por ambos (Web Service e JXTA) são muito semelhantes. A resposta está em um protocolo de comunicação aberto, assim as duas tecnologias se complementariam, convergindo para uma única solução híbrida.

Estas tecnologias não competem por mercado na plataforma Java, elas se complementam. Existem áreas na qual a tecnologia JXTA está sujeita a definição por parte do desenvolvedor, fornecendo funcionalidades P2P adicionais.

Apesar de ser razoavelmente fácil implantar sistemas que utilizam Web Services dentro de ambientes corporativos, há um enorme obstáculo no uso generalizado de Web Services na Internet. Isto ocorre devido à política de pesquisa utilizada pela tecnologia Web Services, que é



focada no controle centralizado de registros *Universal Description, Discovery and Integration* (UDDI). A tecnologia P2P/JXTA pode apontar soluções para esses problemas, oferecendo ferramentas distribuídas para a pesquisa de serviços e comunicação. Além disso, o protocolo JXTA pode fornecer alternativas mais eficientes para o crescimento dos serviços Web. Eliminando o problema do ponto único, usando a rede P2P para distribuir dados e fazer o balanceamento de pedidos na rede.



## Capítulo 3

### Cidades Digitais

Este capítulo apresenta os principais conceitos relacionados ao tema “Cidades Digitais”. Através de uma revisão bibliográfica descrevemos o estado da arte para as arquiteturas de cidade digitais. Analisamos ainda diferentes tipos de cidades na web, focando a arquitetura de dados, objetivos, tecnologias empregadas e organização.

As cidades digitais definem uma forma de complementar a organização das cidades reais, reunindo uma vasta gama de redes digitais e softwares, os quais facilitam os múltiplos aspectos sociais e econômicos das vidas nas cidades: comércio, segurança, saúde, educação, trabalho, lazer, transporte e outros.

Em [27] e [28], Ishida e Tanabe definem cidades digitais como uma plataforma para as redes comunitárias, as quais são espaços de informação que estão sendo desenvolvidos em todo o mundo, como metáfora da cidade.

Este entendimento baseia-se no pressuposto de uma forte semelhança entre a cidade física e sua contrapartida digital, uma semelhança que vai além da imagem de espaço físico e inclui características estruturais e funcionais [29].

Contudo, uma cidade digital é estruturalmente diferente da cidade física de referência. Nem todos os elementos da cidade física têm os seus equivalentes digitais representados. Elementos imaginários também podem participar da construção digital e a proximidade em termos de distância e tempo é deformada. Mesmo em simulações, em duas dimensões (2D) no caso de agentes de transporte urbano e três dimensões (3D) no caso de reconstrução dos espaços e edifícios históricos da cidade, a similaridade não vai além da forma da cidade. Os aspectos funcionais da cidade são mal representados através da simplificação extrema e as relações sociais e econômicas não estão representadas nas simulações em 2D e 3D.

Para Yovanof [30], o termo “Cidade Digital” refere-se a uma comunidade conectada através de uma infraestrutura de banda larga, refere-se também a uma forma flexível de computação

baseada em serviços e a serviços inovadores para atender as necessidades dos governos municipais e dos seus trabalhadores, cidadãos e empresas.

Em [31], Ishida descreve a criação de um ambiente para compartilhamento de informação, colaboração, interoperabilidade e experiências profissionais como os principais objetivos das cidades digitais.

A definição de cidades digitais de Yovanof e os objetivos apresentados por Ishida constituem a imagem de cidade digital que utilizaremos ao longo deste trabalho, ou seja, uma cidade digital organizada como um espaço digital comunitário, voltado para facilitar e aumentar as atividades que ocorrem no espaço físico da cidade. A integração comunitária através das cidades digitais permite o desenvolvimento de redes de conhecimento, formando espaços onde ocorre a troca de informações e experiências profissionais.

### **3.1 Inteligência e Criatividade Urbana**

Em [2], Komninos ao analisar a competitividade dos serviços e das empresas no contexto das cidades, definiu que os elementos determinantes para o desenvolvimento das cidades surgem da inteligência e criatividade urbana. Segundo Komninos, a capacidade de inovação e de organização das cidades é o fator que viabiliza o desenvolvimento de *clusters* tecnológicos e industriais, sustentados pela criatividade, capital humano e conectividade.

Ao sermos confrontados com esta dialética entre os fundamentos da base do conhecimento e da base econômica, surge uma questão: como identificar a ação necessária para acionar o movimento de desenvolvimento das cidades, isto é, qual é a atividade inovadora que atrai talentos?

Em [32], Glaeser e Saiz concordam que "há mais de um século, as cidades com um elevado nível de educação cresceram mais rapidamente do que outras com maior oferta de capital humano". Isto ocorre, devido à opção pelo crescimento impulsionado pela inovação e organização da base econômica, como a atração de talentos.

## 3.2 Estado da Arte

Os fatores determinantes de sucesso da cidade econômica e social envolvem a inovação e a criatividade, a sua estrutura industrial, capital humano e conectividade. Esses fatores demandam soluções que respondam aos desafios da sustentabilidade e coesão, envolvendo uma sólida governança do espaço urbano. Para solucionar tais desafios, devemos estabelecer padrões de serviços e procedimentos para as cidades digitais. Desta maneira, é possível guiar uma comunidade no desenvolvimento sustentável e coeso do projeto, bem como prover os recursos necessários para a sua implementação.

O que parece ser comum ao diversificado conjunto de análises que tentam caracterizar e classificar as cidades do ponto de vista de sua inserção na economia do conhecimento e da globalização é o surgimento de cidades digitais.

As cidades digitais surgem com o objetivo de criar ambientes que melhorem as capacidades cognitivas de aprender e inovar, facilitando a construção coletiva, combinando habilidades individuais e sistemas de informação na cidade física, institucional e espaços digitais.

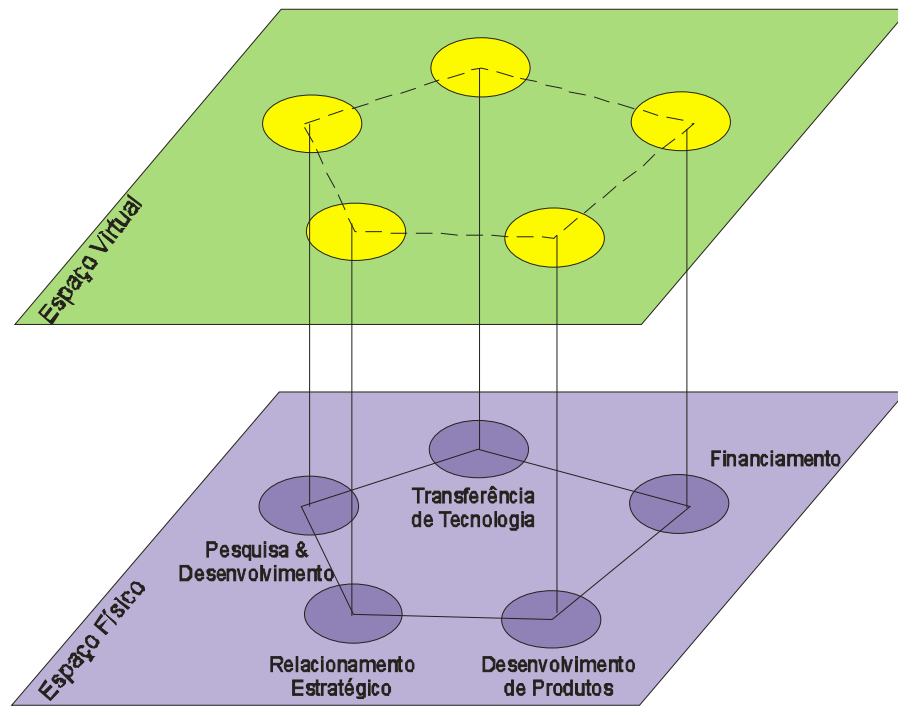
O termo "cidade digital" tem sido empregado como uma reconstrução virtual das cidades, em outras palavras, um sinônimo de "Cidade Inteligente", "Cidade da Informação", "Comunicações Eletrônicas", "Cidade do Conhecimento", etc., cobrindo uma ampla gama de aplicações eletrônicas e digitais relacionadas com a comunidade e espaços da cidade digital. Além de representar uma relação de causa-efeito com crescimento inteligente baseados no desenvolvimento das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC).

As cidades digitais se apresentam como ambientes que aproveitam as TIC para criar espaços interativos que "trazem" a computação para o mundo físico, uma perspectiva onde as cidades digitais referem-se aos ambientes físicos, diluídos nos objetos físicos que fazem parte da vida diária. Através de territórios que combinam a criatividade individual, a pró-atividade das instituições, na aprendizagem e inovação digital, facilitando a gestão do conhecimento.

### 3.2.1 Arquitetura de Komninos

Em [2], Komninos descreve as cidades digitais como *"territórios com alta capacidade de aprendizagem e inovação, onde está embutida a criatividade de sua população, a criação de*

*instituições de pesquisa, a infra-estrutura digital de comunicação e a gestão do conhecimento".* Desta forma, Komninos propõe a arquitetura de cidades digitais representada na figura 3-1.



Adaptado de Komninos

**Fig 3-1: A Arquitetura de Komninos [2]**

A arquitetura definida por Komninos propõe a desmaterialização e a democratização digital como características da "cidade digital", não só ajudando a reforçar a capacidade produtiva e disseminando o conhecimento, mas também favorecendo a criatividade lógica da construção coletiva.

Na verdade, a característica distintiva das cidades digitais é o desempenho na área da inovação, facilitados pelos espaços digitais, ferramentas on-line de comunicação e gestão do conhecimento.

Nessa concepção de cidade digital, como mencionado por Kaufmann e Todtling [33], percebe-se uma espécie de "*regionalização*" da inovação, na escala urbana, representada pela fraca mobilidade do capital simbólico (prestígio e/ou carisma), que confere vantagens a determinadas regiões, pela localização específica de clusters industriais, favorecendo a inovação de padrões

específicos nas redes e setores, pela natureza coletiva da aprendizagem dentro de um sistema produtivo regional contribui para o nascimento de uma cultura própria e distintiva, pela natureza específica das relações entre os diversos atores da comunidade científica, tecnológica e sistema empresarial em um nível regional e pelo papel da política regional no apoio à inovação por meio de instituições adequadas.

Komninos considerou que as cidades digitais se parecem com um processo de " *fusão de clusters de inovação, com a finalidade de reforçar o conhecimento e a inovação*". Sendo que esta fusão é desencadeada e alimentada pelas redes de conhecimento e processos que regulam os sistemas de conhecimento e inovação. Deste ponto de vista a cidade digital é um sistema de inovação envolvendo múltiplo-agentes, combinando atividades que são intensas no conhecimento, cooperação institucional e ferramentas de comunicação, que maximizam a capacidade de resolver problemas, estruturando-se em três níveis.

Os clusters produtivos, na indústria e serviços, formam o nível básico de uma cidade digital. Ele associa a classe criativa, composta de pessoas talentosas, cientistas, artistas e empresários, determinando como o ambiente inovador está organizado e como as cidades se desenvolvem. A proximidade geográfica facilita a cooperação e troca de conhecimentos entre produtores, fornecedores, serviços e trabalhadores do conhecimento.

Um segundo nível é constituído por mecanismos institucionais que controlam o fluxo do conhecimento e a cooperação na aprendizagem e formação. Ele associa instituições que promovem a inovação, pesquisa e desenvolvimento (P&D), capital de risco, transferência de tecnologia, propriedade intelectual, incubação e consultoria.

Um terceiro nível é composto de informações e infra-estrutura de telecomunicações, responsável por fornecer ferramentas digitais e espaços para aprender e inovar. Estas tecnologias facilitam a inovação baseadas em instrumentos multimídia, transferência de tecnologia, criação de empresas de tecnologias e inovação de produtos e processos.

A integração destes três níveis da cidade digital beneficia um conjunto de processos e atributos: inteligência estratégica coletiva, transferência de tecnologia, inovação colaborativa e a promoção de comunidades e regiões.

### 3.2.2 Arquitetura de Anthopoulos

Em [34], Anthopoulos propõe uma arquitetura para cidades digitais baseada em uma Arquitetura de Empresas [35], visando garantir uma gestão eficaz e os resultados do projeto. Uma arquitetura modular, multicamadas, com o objetivo de alcançar a sustentabilidade e a evolução contínua do projeto.



Adaptado de Anthopoulos

Fig 3-2: Arquitetura de Anthopoulos [34]

A arquitetura apresentada na figura 3-2 contém as seguintes camadas:

- **Usuários** - Descreve os grupo de usuário e potenciais serviços da cidade digital. Por exemplo: cidadãos, empresas, alunos, funcionários públicos, turísticas, etc;
- **Serviços** – Contêm os aplicativos (sistemas) que fornecem informações e serviços públicos aos cidadãos e empresas. Por exemplo: governo eletrônico, comércio eletrônico, tele-atendimento, serviços geoespaciais, etc;
- **Negócios** – Define a política, as regras de operação e a arquitetura da cidade digital. Está camada define “QUEM” e “COMO” as transações devem ocorrer;



- Infraestrutura – Inclui a rede banda larga local (MAN e WI-FI), rede telefônica, pontos de acesso público, etc;
- Informação – Refere-se a informações e dados que são produzidos e armazenados na camada de infraestrutura em grandes repositórios de informações.

A arquitetura apresentada por Anthopoulos separa os sistemas fornecedores (serviços), dos sistemas consumidores. Esta separação somente será possível, quando a cidade digital possuir mecanismos de publicação, localização e fornecimento de serviços.

### **3.2.3 Funções da Cidade Digital**

Komninos afirma que o desenvolvimento das cidades digitais está baseado em infraestrutura de comunicação, sistemas especialistas e ferramentas de gestão do conhecimento, criando uma integração física-virtual das atividades e funções da cidade real. Komninos apresenta quatro funções, características das cidades digitais, que surgem desta integração: Inteligência Estratégica Coletiva, Transferência de Tecnologia, Inovação Colaborativa e Promoção de Comunidades e Região [2].

#### **3.2.3.1 Inteligência Estratégica Coletiva**

Para Komninos, inteligência estratégica coletiva é um campo da inovação que tem apresentado um grande crescimento. As cidades digitais podem promover a inteligência estratégica coletiva, como uma forma particular de inteligência estratégica na qual a aquisição, avaliação e a divulgação das informações dependam da ação conjunta dos cidadãos, comércio, empresas e governo local. A inteligência estratégica coletiva difere substancialmente da inteligência de negócios, a forma mais conhecida de inteligência. A inteligência de negócios explora os dados de empresas, fornecedores e clientes, permitindo a realização de análises comparativas que facilitem a tomada de decisões. Na inteligência estratégica coletiva, os dados provêm de comunidades,

organizações, comércio, empresas e governo local, que divulgam e compartilham suas informações. A avaliação da informação também é coletiva e combina visões individuais e avaliações em grupos.

Nas cidades digitais a inteligência estratégica coletiva combina aplicações de dois tipos: vigilância tecnológica e a identificação das melhores práticas do mercado.

A vigilância tecnológica é uma forma sistemática de aquisição, análise, compreensão e difusão da informação sobre o anúncio de novos produtos, tecnologias, estatísticas industriais, indicadores de desempenho, mercado de ações, tendências de preços, etc. Os dados são armazenados em bancos de dados, portais, blogs e outros repositórios digitais de acordo com modelos predefinidos.

O *Benchmarking* é uma forma de análise, que compara desempenhos comerciais e apresenta as melhores soluções. Surgiu nas empresas e sua utilização nas cidades digitais vem permitindo o mapeamento dos processos produtivos locais e o acompanhamento do desempenho das entidades nos mais diversos segmentos. A avaliação das operações que ocorrem nas cidades digitais permite ao governo local identificar ações para melhorar o desempenho das entidades e das cadeias produtivas.

### **3.2.3.2 Transferência de Tecnologia**

O processo de transferência de tecnologia usualmente envolve a transferência de *know-how* de uma organização de pesquisa e desenvolvimento (P&D) a uma organização receptora [36]. As principais formas de transferência de tecnologia envolvem licenciamento, cooperação em P&D e a criação de empresas de tecnologia.

O licenciamento está baseado em acordos de transferência dos direitos de propriedade intelectual, permitindo desenvolver, utilizar e vender um determinado produto, projeto ou serviço.

A cooperação ou contratos de P&D estão baseados no desenvolvimento de projetos cooperativo-colaborativos.

A criação de empresas de tecnologia permite a comercialização das tecnologias provenientes das organizações de P&D, consultoria, prestação de serviços técnicos, compra de equipamentos, e formação [37].

As cidades digitais facilitam a transferência de tecnologia, pois estão baseadas em bancos de dados de resultados em P&D. Os resultados armazenados em banco de dados e portais para licenciamento permitem a todos os segmentos da sociedade buscar soluções para suas necessidades tecnológicas e o contato com o provedor da tecnologia, visando elucidar possíveis usos e aplicações. Portais Tecnológicos são acoplados com outros serviços on-line relacionados à transferência de conhecimento, permitindo a interação on-line e a cooperação.

A cidade digital de Aveiro em Portugal é um exemplo desta característica. A interação entre a universidade digital e a cidade digital de Aveiro constituiu-se em um fator importante na promoção do desenvolvimento local, através da formação, da investigação, da transferência de tecnologia e da intervenção cultural [38].

### **3.2.3.3 Inovação Colaborativa**

Esta nova forma de inovação reconhece o papel crítico das comunidades e redes como condição fundamental no processo de inovação. Interações dentro das comunidades científicas são uma espécie de processo de difusão em que idéias são transmitidas de pessoa a pessoa, evidenciando o desenvolvimento do conhecimento [2]. Os fluxos de informações entre fornecedores, produtores e clientes, são todos ingredientes para o desenvolvimento de processos criativos de novos produtos. Inovação não é uma conquista individual, é um esforço de um grupo de pessoas interagindo e compartilhando os mesmos valores e objetivos.

O desenvolvimento de cidades digitais permite a formação de comunidades virtuais equipadas com ferramentas de gestão on-line, ferramentas de criatividade, clientes virtuais, ferramentas colaborativas de desenvolvimento de produtos, pesquisa de mercado e ferramentas de publicidade. Estas plataformas oferecem ambientes colaborativos para desenvolvimento de produtos e o resultado é uma melhoria substancial da capacidade de inovação humana, por causa da colaboração e oferta de tecnologias avançadas.

### **3.2.3.4 Promoção de Comunidades e Regiões**

Promoção e comércio eletrônico são algumas das principais funções das cidades digitais, podendo tomar várias formas: publicidade direta, atração de pessoas e investimentos, contratos e compras, leilões, viagens, serviços comunitários e governo eletrônico [2].

O foco é fornecer uma série de produtos e serviços produzidos pela comunidade digital conectada através de canais de informação. Os canais de informação e as redes de conhecimento são necessários para o funcionamento desta cadeia produtiva.

Dentro das ofertas e canais de comércio, as cidades digitais têm múltiplos valores adicionados. Os espaços digitais podem facilitar, aprimorar e reduzir os custos de todos os tipos de transações como logística, publicidade, informações políticas, regulamentos, normas técnicas, incentivos, procura de parceiros, compradores, vendedores e serviços [39].

A diferença da promoção individual e do comércio eletrônico está no fato das aplicações coletivas promoverem as comunidades e a região em conjunto com seus produtos e serviços. Para os pequenos produtores isso é uma vantagem, não podendo ser obtida sem a utilização de ferramentas digitais.

## **3.3 Cidades Digitais existentes**

Nesta seção, são apresentados os resultados da análise de diversas cidades digitais realizada por Anthopoulos [34] e Ishida [40], buscando traçar suas metas, arquiteturas, tecnologias e organização a fim de proporcionar uma melhor compreensão do seu estado atual e perspectivas de futuro.

### **3.3.1 Cidades Digitais AOL**

Primeiramente, Ishida analisou as cidades digitais da America Online (AOL). A AOL foi fundada em 1985 e seu serviço de Internet tem mais de 17 milhões de associados. A AOL oferece a localização de serviços on-line regionais para aproximadamente 65 cidades.

As cidades digitais AOL possuem um conjunto de informações turísticas e comerciais correspondentes da cidade real. A AOL oferece oportunidades de publicidade local para os mercados verticais, como: automóveis, imóveis, emprego e saúde. A cidade digital AOL é o serviço de informação regional mais popular dos EUA, recebendo mais de 4,5 milhões de visitantes por mês. O sucesso das cidades digitais AOL mostra as necessidades das pessoas na localização de serviços regionais para a sua vida cotidiana.

The screenshot displays the AOL City's Best website for New York City. The header includes the AOL logo and the slogan "City's Best™ THE EASIEST WAY TO FIND WHAT'S BEST". The main navigation bar lists categories: NEWS, RESTAURANTS, BARS & CLUBS, and LIFESTYLE. A "Sign in now" button is visible in the top right corner.

The main content area is titled "NEW YORK CITY" and features a "VOTE FOR THE BEST THROUGH NOVEMBER 30TH!" section. This section includes three voting options: "Best Desserts", "Best Pizza", and "Best Seafood". Below this, there are three featured articles:

- Upscale Comfort Food To Impress Your Date** by Kevin St. John: "It's chilly outside and comfort food is shouting your name, but you have a date; hot dogs with mac..."
- Theater: A Visit From Sad 'St. Nicholas'** by Leonard Jacobs: "Those pesky theater critics. You can't live with them. If you're the maudlin man in Conor..."
- A View Of Macy's Thanksgiving Day Parade** by City's Best: "A lot of preparation goes into the Macy's Thanksgiving Day Parade, building the parades to..."

There are also several sidebars and advertisements:

- ADVERTISMENT:** "Listen to your favorite songs while you surf the Web." with an AOL Radio logo and a "Download the AOL Radio Toolbar" button.
- ASK A LOCAL:** A video thumbnail showing a man speaking.
- FIND AND VOTE FOR THE BEST:** A section with a deadline of "Voting ends November 30th" and lists of categories for Restaurants, Bars & Clubs, and Lifestyle, each with a "view all" link.
- AROUND THE CITIES:** A section with links to other cities: Baltimore (Best Diner), Detroit (Best Chef), San Francisco (Best Post-Thanksgiving Breakfast and Brunch), and Las Vegas (Best After-Hours Groove).

The footer contains links for "AOL Inc.", "Terms of Service", "Privacy Policy", "Trademarks", "Help + Support", "Feedback", "FAQ", and "Business Center", along with the copyright notice "© 2010 AOL Inc. All Rights Reserved".

Fig 3-3: Cidade digital AOL de Nova Iorque

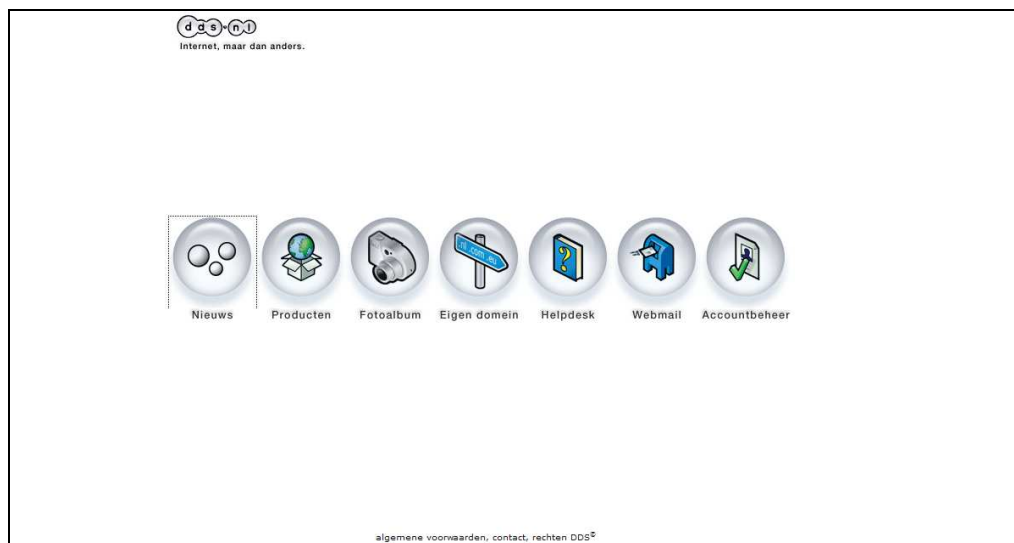
<http://www.digitalcity.com/>

A Figura 3-3 apresenta a cidade digital AOL de Nova Iorque. A cidade oferece notícias locais, serviços comunitários, entretenimento e comércio. Geralmente, os sites de busca, como Yahoo,

visam obter informações globais, já o foco das cidades digitais está nas informações locais. Portanto, para pessoas que vivem ou visitam Nova Iorque, uma cidade digital se torna a ferramenta mais indicada para obter as informações locais.

### 3.3.2 Cidade Digital de Amsterdam

A Conferência Europeia de cidades digitais vem sendo realizada anualmente desde 1994 para discutir um grande número de temas. Um exemplo dos testes realizados é a cidade digital de Amsterdam, chamada *De Digitale Stad* (DDS), criada há quatro anos [41]. Esta cidade foi construída como uma plataforma para várias redes comunitárias e com foco na interação social entre os cidadãos.



**Fig 3-4: Cidade digital de Amsterdam**

<http://www.dds.nl/>

A cidade digital de Amsterdam, apresentada na figura 3-4, foi criada para comunicação entre o conselho municipal e os cidadãos. Os principais objetivos da DDS permaneceram os mesmos ao longo dos anos: o aumento da participação eletrônica dos cidadãos e a transferência de conhecimento. O desenvolvimento da infraestrutura econômica mudou radicalmente desde seu início. Em menos de um ano e meio, três interfaces gráficas foram implantadas. Terminais de

acesso foram instalados em espaços públicos, como bibliotecas. O sucesso deste experimento aumentou o interesse dos cidadãos na Internet. Nas primeiras dez semanas, 10.000 pessoas se cadastraram na cidade digital e 100 mil acessos foram registrados. O sistema continuou a crescer, em 1996, uma média de 48.000 usuários por semana visitava a cidade digital.

### 3.3.3 Cidade Digital de Helsinki

O projeto Helsinki Arena 2000 iniciado em 1996, sob a iniciativa da Holding Corporation and Helsinki Telephone Corporation (HPY) [42], tem como objetivo a construção de redes de alta velocidade que constituirão a próxima geração de rede metropolitana. O projeto consiste no desenvolvimento de uma rede multimídia comercial, capaz de transmitir vídeos com garantia de qualidade entre as residências de Helsinki. Isto proporciona novas possibilidades de comunicação entre os cidadãos, comunidades e empresas.

The screenshot shows the City of Helsinki website interface. At the top, there is a search bar and a navigation menu with links for 'Suomeksi', 'På svenska', 'Auf Deutsch', 'En français', 'По-русски', and 'Other languages'. Below the navigation is a banner image of Helsinki with the 'City of Helsinki' logo. To the right of the banner is a search box for 'www.hel.fi' and a 'SEARCH' button. Below the search box are links for 'Site map' and 'Service index A-Z'. The date '19.11.2010' is displayed in the top right corner.

The main content area is divided into several sections:

- Categorised services:** A list of services including Transport and maps, Tourism and leisure, Culture and libraries, Sports, Housing and the environment, Planning and construction, Work and entrepreneurship, Education, Health care services, Families and social services, Information on Helsinki, City government, and Contacts and feedback.
- Current and News:** A section titled 'How to prevent segregation in City welfare services' with a sub-headline 'A new study published by the City of Helsinki Urban Facts reviews and compares challenges to City welfare services in different parts of Helsinki. The study, by Annina Ala-Outinen, serves as a basis for further discussion on how Helsinki's public service network should be developed. Read more...'. Below this are three news items:
  - [ 18.11.10 ] [City provides over 100 free Internet access points](#)
  - [ 17.11.10 ] [Current year expected to break tourism records](#)
  - [ 16.11.10 ] [Eco-efficiency of city planning to be improved with a new tool](#)
- Tourism:** A section with a 'Tourism' link and a 'Weather -3' widget.
- Jobs:** A section with a 'Jobs' link.
- WORLD DESIGN CAPITAL HELSINKI 2012:** A logo for the World Design Capital Helsinki 2012.
- Helsinki services:** A section with links for 'For young persons', 'For senior citizens', 'For immigrants', and 'For disabled people'. A 'More services' link is at the bottom.

At the bottom of the 'Current and News' section, there is a section titled 'Use the net for your transactions and participation' with links for 'Decision making', 'City departments', 'Transactions', 'Participation', and 'Administration and finance'.

Fig 3-5: Cidade digital de Helsinki

<http://www.hel.fi/hki/Helsinki/en/Etusivu>

Em paralelo ao desenvolvimento das redes de alta velocidade, uma tentativa de construir uma cidade virtual 3D está em andamento. A figura 3-5 apresenta a cidade digital de Helsinki disponibilizando serviços como: informações de transporte, turismo e cultura. A utilização dos modelos 3D necessita de um maior poder computacional e altas taxas de transmissão nas redes de comunicação para visualização das cidades digitais. Esta cidade virtual será a interface para novos serviços de rede. Embora exista uma grande discussão sobre se devemos ou não utilizar realidade virtual 3D, a Helsinki 3D é aceita pelo povo finlandês que prefere a nova tecnologia para realizar atividades on-line. A Finlândia é hoje um país líder na utilização da Internet, home banking e celulares, apesar de possuir uma população de apenas 5 milhões de pessoas.

### **3.3.4 Cidade Digital de Kyoto**

Em outubro de 1998, foi iniciado um projeto para desenvolver um protótipo de cidade digital como uma infra-estrutura de comunicação social para Kyoto [43]. Ao contrário de outras cidades digitais, o projeto foi orientado a pesquisa, e está sendo realizado por universidades e laboratórios de pesquisa básica.

No primeiro ano do projeto, vários experimentos foram realizados. A cidade digital de Kyoto disponibiliza diferentes metáforas da cidade: um mapa em 2D e um espaço virtual em 3D, sendo que ambos apresentam interfaces gráficas amigáveis para os usuário. Um grande número de páginas WEB estão sendo localizadas e vinculadas à cidade 2D/3D. Os dados sensoriais em tempo real da cidade física também foram mapeados para a cidade digital. Como a cidade real, a Rua Shijo (2 km de comprimento) foi criada em um espaço virtual 3D com a colaboração do comércio local. As pessoas podem obter informações relacionadas a cidade física, tais como tráfego, estacionamento, shopping e passeios. A cidade digital de Kyoto, apresentada na figura 3-6, também estimula a interação social entre moradores e turistas. Para os visitantes on-line, um ônibus turístico digital com um guia on-line para apoio cultural está atualmente em desenvolvimento.





Fig 3-6: Cidade digital de Kyoto

<http://www.digitalcity.gr.jp/index-final.html>

As idéias dos pesquisadores começam a engajar as comunidades locais e governos, mas será necessário mais tempo para o protótipo tornar-se uma cidade digital útil.

### 3.4 Analisando as Cidades Digitais

Esta seção fornece uma análise comparativa das quatro cidades digitais apresentadas na Seção 3.3 em vários aspectos.

#### 3.4.1 Objetivos

Cada cidade digital tem a seu próprio objetivo. O objetivo depende da organização proposta ao desenvolver o projeto.

As cidades digitais AOL visam o crescimento de seus negócios nos chamados mercados verticais. Por outro lado, a cidade digital de Amsterdam destina-se a fornecer um espaço público de comunicação para pessoas que vivem na cidade. Em Helsinki, uma rede multimídia comercial

está sendo projetada, capaz de transmitir vídeos com garantia de qualidade entre as residências. Em Kyoto, uma infra-estrutura de comunicação social (incluindo comércio, transporte, educação e assistência social) é o objetivo do projeto.

As cidades digitais geralmente oferecem serviços comerciais e sociais e vivem o dilema de conciliar estes dois tipos de serviços. As cidades digitais que oferecem apenas serviços sociais, sob portais desinteressantes, não se tornam referência na Internet. Por outro lado, as cidades digitais que oferecem apenas serviços comerciais, se tornam demasiadamente homogêneas como as cidades digitais AOL. Em qualquer caso, as cidades digitais são forçadas a enfrentar concorrência com empresas privadas, que prestam apenas serviços comerciais. A cidade digital pode competir com essas empresas? Nos EUA, parece que a resposta é não, mas na Europa, pode ser sim uma vez que existe uma tradição das organizações públicas proverem informações de alta qualidade. As maiores emissoras de TV européias, por exemplo, são dirigidas por organizações não comerciais. A resposta na Ásia, incluindo o Japão, não é conhecida e será deixada para o futuro.

A tecnologia pode mover a fronteira entre os serviços comerciais e sociais. As cidades digitais muitas vezes fornecem serviços de e-mail e áreas de trabalhos gratuitos. As cidades digitais universalizam o acesso a Internet, oferecendo serviços comerciais e de e-mail gratuitos.

O planejamento urbano é outra motivação das cidades digitais [44]. A cidade virtual de Los Angeles é projetada para permitir que os membros da comunidade possam participar diretamente do processo de planejamento urbano, sendo um bom exemplo de uma cidade virtual 3D de alta qualidade [45].

### **3.4.2 Arquitetura**

A Figura 3-7 apresenta o modelo de três camadas utilizado para desenhar cidades digitais. A primeira camada é chamada de Camada de Informação, na qual arquivos WWW e dados sensoriais em tempo real são integrados e reorganizados utilizando a metáfora da cidade. O banco de dados geográfico é utilizado para integração destes tipos de informação. A segunda camada é chamada de Camada de Interface onde os mapas 2D e espaços virtuais 3D fornecem uma visão intuitiva das cidades digitais. A animação de objetos em movimento, como *avatars*, carros,

ônibus, trens e helicópteros demonstram atividades dinâmicas nas cidades. A terceira camada é chamada de Camada de Interação onde moradores e turistas interagem. A interação social tem um objetivo importante, mesmo com a construção de espaços 3D, pois uma cidade sem vida pode se tornar pouco atraente. Da mesma forma, mesmo que tenhamos uma cidade digital onde as pessoas interajam, se não houver conexão com a cidade física correspondente, esta cidade pode não se tornar o principal canal de informação. Experimentos de computação comunitários [46, 47], especialmente em tecnologias de agentes/multi-agentes vem sendo realizadas para promover interações em cidade digitais.

Como as cidades digitais podem estar diretamente conectadas com as cidades físicas? Em Helsinki, a HPY (Holding Corporation and Helsinki Telephone Corporation) está planejando a construção de uma rede de alta velocidade multimídia. A obra foi orçada em 20 milhões de dólares em 1998, e mais de 600 milhões de dólares nos cinco anos seguintes. No âmbito deste plano, para utilizar plenamente a nova rede, a cidade digital deverá ser fortemente interligada à Helsinki física através de uma representação virtual em 3D.

**Interação**

Agente de apoio a interação social entre os moradores e turistas.

**Interface**

Mapas em 2D e gráficos 3D.

Animação em tempo real para agentes de interface.

**Informação**

WWW, arquivos digitais e dados sensoriais em tempo real da cidade física.



**Fig 3-7: Arquitetura das cidades digitais [40]**

Amsterdã parece possuir uma proposta diferente. Esta cidade digital não é apenas uma rede local para a cidade de Amsterdã. Geralmente, as pessoas em cidades pequenas tendem a

preferir os temas locais. Mas os habitantes das grandes metrópoles, como Amsterdam, na sua maioria são provenientes de outras cidades. Seus interesses não estão necessariamente em Amsterdam.

Embora a cidade digital de Amsterdam tenha introduzido com sucesso uma metáfora da cidade nos serviços de informações regionais, uma vez que não existe um mapeamento direto entre a Amsterdam física e digital, a proporção de cidadãos digitais de Amsterdam diminuiu de 45% em 1994 para 22% em 1998. Este fato levanta a seguinte questão: “A nossa realidade deve ser incorporada pelas cidades digitais?” Se desenvolvermos serviços e cidades digitais sem fortes ligações com os serviços e cidades físicas correspondentes a conexão entre esses dois mundos pode desaparecer gradualmente. No entanto, os organizadores de Amsterdam pensam nisso como um bom sinal. Será que os organizadores querem realmente que a cidade digital se torne uma cidade imaginária? Isto provavelmente ocorre devido às dimensões e o papel da cidade no país. Na Holanda, há 14 milhões de habitantes, Amsterdam é a capital e 1,5 milhões de pessoas residem na região metropolitana. O poder político de Amsterdam permite que os serviços da cidade digital ultrapassem as fronteiras da cidade física.

Em Kyoto, embora o projeto não tenha sido construído sobre redes de alta velocidade, o objetivo foi desenvolver uma infraestrutura de comunicação social para cidade de Kyoto, através de uma relação forte entre a cidade digital e a cidade física. Como o nível de dados sensoriais em tempo real é maior, os enlaces serão naturalmente reforçados. Enquanto a Holanda pode ser a fronteira da cidade digital de Amsterdam, o Japão é grande demais para atuar como fronteira da cidade digital de Kyoto. A forte ligação entre a Kyoto física e digital foi projetada sobre as experiências de Amsterdam.

### **3.4.3 Tecnologias**

Para o desenvolvimento das cidades digitais analisadas identificamos que foram utilizadas tecnologias para integração de informações, participação pública, agentes sociais e segurança da informação.

A tecnologia para integração de informações é essencial para acumular e reorganizar a informação urbana de uma forma compreensiva. As cidades digitais normalmente manipulam

páginas WEB e os dados sensoriais de cidades físicas em tempo real. Uma grande quantidade de arquivos digitais de alta qualidade também pode ser acessada a partir das cidades digitais. A ideia de "utilizar um mapa" é comumente observada em cidades digitais. Amsterdam utiliza um mapa de informações abstrato, enquanto Kyoto utiliza um mapa da cidade. Neste último caso, tecnologias como sistemas de informação geográfica (SIG) são necessárias para a integração de diferentes tipos de informação urbana. Os SIG podem se tornar uma tecnologia-chave para cidades digitais.

Já as tecnologias para participação pública permitem que vários indivíduos e organizações participem da construção de cidades digitais. Para tanto, o sistema inteiro deve ser flexível e adaptável. Para o desenvolvimento de sistemas, sistemas multi-agentes são promissores. Para o desenvolvimento de interfaces que permitam tanto a criação de conteúdos quanto a interação social, uma nova tecnologia é necessária para incentivar as pessoas com diferentes objetivos a participar das cidades digitais. Em Amsterdam, uma metáfora da cidade é usada para criar uma nova forma de participação pública. Atividades recentes sobre as cidades digitais também incluem tecnologias 3D. No entanto, questionamos se o nível de realidade de 3D é tecnologicamente e psicologicamente adequado para as aplicações das cidades digitais. Outra questão é como devemos/podemos desenvolver e manter a cidade digital 3D. Novamente, a participação do público é a chave para resolver estes problemas, através de ambientes web amigáveis, onde o cidadão possa utilizar uma combinação de diversos tipos de mídia (vídeo, áudio, etc.) com mapas e gráficos 3D.

Enquanto as tecnologias para agentes sociais estão sendo testadas, a maioria das cidades digitais adotou uma abordagem direta de manipulação para desenvolvimento de interfaces gráficas amigáveis. A manipulação direta permite que os usuários utilizem os objetos de informação explicitamente. Um agente (como cidadão, empresa, serviços ou qualquer que seja) é uma nova abordagem a este campo. Contanto que os agentes tenham a capacidade de se comunicar com usuários em linguagem natural, os usuários poderão utilizar os objetos de informação sem operações explícitas. Isso permite que uma cidade digital mantenha uma interface gráfica simples e independente do aumento de informações armazenada.

As tecnologias para segurança da informação tornam-se importantes na medida em que mais pessoas utilizam as cidades digitais. Por exemplo, nem sempre é apropriado criar links entre as cidades digitais e sites individuais. Temos leis sociais nas cidades físicas, tais como as leis de

invasão de privacidade e propriedade, e as cidades digitais devem incorporá-las em seus espaços de informação. Estas questões estão sendo discutidas, mas ainda não foram incorporadas pelas cidades digitais.

### **3.4.4 Organização**

Projetos organizacionais das cidades digitais são resultados de suas metas. As cidades digitais AOL são exploradas por uma empresa comercial. Em outras cidades digitais, setores públicos estão administrando os projetos. A cidade digital de Amsterdam é administrada por uma organização sem fins lucrativos, chamada *De Digitale Stad* (DDS), composta por 30 membros incluindo administradores de sistema, programadores e web designers. A DDS paga salários para os membros, e usa todo montante coletado para a meta organizacional.

Em Helsinki, o consórcio Arena 2000 foi formado sob a iniciativa da Helsinki Telephone Corporation (HPY). O governo municipal e várias empresas incluindo IBM e Nokia estão envolvidos no projeto. A rápida expansão da rede celular iniciou este projeto. Se não houver nenhum avanço das redes de telefonia fixa, o mercado deverá adotar as redes sem fio. A cidade virtual em 3D está sendo desenvolvida pela ARCUS Inc. Esta empresa está tentando vender sua tecnologia para outras cidades na Europa, e criou uma Bremen Virtual, a pedido da cidade de Bremen.

O projeto da cidade digital de Kyoto é uma iniciativa de três anos, patrocinada pela NTT Open Laboratory. Fundada em outubro de 1998, o projeto está baseado nos trabalhos dos pesquisadores da NTT e da Universidade de Kyoto, mas também inclui uma ampla variedade de pessoas de outras organizações. Em Agosto de 1999, o Fórum Cidade Digital de Kyoto foi lançado. O fórum inclui diversas universidades, empresas, comunidades locais e governos próximos de Kyoto.

### **3.4.5 Considerações**

Anthopoulos [34] e Ishida [40] analisaram diversas cidades digitais no mundo. A Tabela 3-1 apresenta os resultados desta análise. As cidades digitais foram criadas com diferentes motivações, tais como: um mercado vertical, um local de comunicação pública, uma rede

metropolitana de próxima geração, uma infraestrutura de comunicação social. As cidades digitais mudaram e continuarão mudando com as novas tecnologias.

As cidades digitais têm uma variedade de direções: turismo, comércio, transporte urbano, planejamento, bem-estar social, controle de saúde, educação, defesa civil, política, entre outras. As pessoas podem facilmente imaginar diversas aplicações para cidades digitais. As cidades digitais podem incorporar dados sensoriais em tempo real das cidades físicas correspondentes, já que tais sensores estão sendo embutidos nas cidades nos últimos anos. Muitos deles podem ser compartilhados pelos cidadãos para aumentar o bem-estar e a proteção contra desastres. Uma vez que as pessoas experimentem a utilidade das informações sensoriais em tempo real das cidades digitais, elas podem querer anunciar vagas em restaurantes, estacionamentos e assim por diante.

**Tab. 3-1: Comparação de cidades digitais**

	<b>AOL</b>	<b>Amsterdam</b>	<b>Helsinki</b>	<b>Kyoto</b>
<b>Objetivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mercado Vertical</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Local de comunicação pública</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rede metropolitana de próxima geração</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infraestrutura de comunicação social</li> </ul>
<b>Arquitetura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acumulando Informações Urbanas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fracamente acoplados com a cidade física</li> <li>• Plataforma de redes comunitárias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortemente acoplados com a cidade física;</li> <li>• Redes de alta velocidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortemente acoplados com a cidade física</li> <li>• Multicamada;</li> </ul>
<b>Tecnologia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Web Chat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metáfora da cidade para participação pública</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cidade Virtual 3D</li> <li>• Tecnologia de Rede</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cidade Virtual 3D</li> <li>• Informação</li> </ul>

	<b>AOL</b>	<b>Amsterdam</b>	<b>Helsinki</b>	<b>Kyoto</b>
				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integração</li> <li>• Agente Social</li> </ul>
Organização	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comercial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não comercial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cidade Digital é um consórcio iniciado pela Holding Corporation and Helsinki Telephone Corporation (HPY)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fórum Cidade Digital (Universidades, empresas e governos locais)</li> </ul>
Infraestrutura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não possui infraestrutura própria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redes de alta velocidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redes de alta velocidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não possui infraestrutura própria</li> </ul>

As cidades digitais atraem as pessoas porque diferentes especialidades podem contribuir para a construção de uma nova cidade. As cidades digitais oferecem uma oportunidade para que as pessoas criem um novo espaço de informação para a sua vida cotidiana.



## Capítulo 4

### Arquitetura Proposta

Nas análises realizadas por Anthopoulos [34] e Ishida [40] sobre diferentes cidades digitais existentes, foram identificadas diversas arquiteturas. Os rápidos avanços das tecnologias da Internet tornaram o futuro destas arquiteturas uma incógnita. A tecnologia que era restrita a poucas pessoas, hoje é encontrada em celulares, *tablets*, computadores, notebooks, terminais públicos e outros. Por isso, as quatro cidades digitais foram analisadas, com foco na arquitetura de dados, forma e funções.

Dentre as cidades analisadas por Anthopoulos [34] e Ishida [40], o caso mais avançado é a cidade digital de Kyoto, a qual se mostrou polivalente e multifuncional. A construção da cidade digital de Kyoto está baseada em três camadas. Em [40], Ishida denominou a primeira camada de “Camada da Informação”, a qual é um repositório de matérias-primas, arquivos *HyperText Markup Language* (HTML), dados sensoriais em tempo real, arquivos multimídia, texto, fotos e outros dados organizados em bancos de dados geográficos. A segunda camada é a “Camada da Interface”, que contém os mapas da cidade, representações 3D, mobiliário da cidade, carros, ônibus, trens, avatares que simulam a presença humana e de todos os *designs* gráficos e objetos que visualizam a cidade. A terceira camada é a “Camada de Interação”, onde as pessoas interagem entre si, através do intercâmbio de informações e da comunicação utilizando ferramentas como fóruns, chats, etc. (ver sessão 3.3.4).

Em [47], Schuler analisa os outros casos (portal comercial, plataforma de comunicação e cidade virtual) nos quais as arquiteturas são mais simples. A cidade é reduzida a apenas um diretório de informações urbanas organizado como um portal de categorias lógicas e significativas. Para a plataforma de comunicação, foi desenvolvido um fórum que permite ao município discussões e debates.

## 4.1 Arquitetura Proposta

Através do estudo das arquiteturas dos quatro tipos de cidades digitais realizadas por Anthopoulos [34] e Ishida [40], é possível conceber um modelo universal de cidades digitais a partir do qual todas as combinações e modelos alternativos possam derivar.

Observando as cidades digitais UOL, Helsinki, Amsterdam e Kyoto, propomos uma arquitetura que pode ser descrita através de uma estrutura de quatro camadas:

- Infraestrutura (Rede de Dados) – Uma rede de comunicação utilizada como meio físico para interoperabilidade dos elementos digitais das cidades digitais;
- Interoperabilidade (*middleware*) – Responsável pelo intercâmbio da informação, interligando os sistemas distribuídos das cidades digitais através da plataforma de redes P2P, dando ênfase ao protocolo JXTA;
- Interface (Portal Web) - Inclui todos os sites que os cidadãos (usuários) visitam, a fim de interagir com os serviços on-line oferecidos pelas cidades digitais. Os usuários são guiados pelas diferentes áreas das cidades digitais através de interfaces amigáveis, tornando a interoperabilidade dos sistemas distribuídos transparente;
- Serviços (Aplicações) - Uma estrutura de conteúdos e serviços digitais distribuídos e oferecidos on-line, conectados às cidades digitais através da Camada de Interoperabilidade (*middleware*).

As camadas de Serviços (Aplicações/Sistemas Distribuídos), Interface (Portal Web) e Interoperabilidade (*middleware*) formam a parte lógica das cidades digitais e estão intimamente relacionadas. A camada de Infraestrutura (Rede de Dados) forma a parte física, independente das camadas lógicas.

Dependendo da amplitude dos serviços das cidades digitais (representação, informação, trabalho, lazer, comércio, transações, etc.), como podemos observar na figura 4.1, a arquitetura é

genérica e adaptável, podendo servir a qualquer conceito de cidade digital, especializada em sites de comércio, governo ou serviços eletrônico.

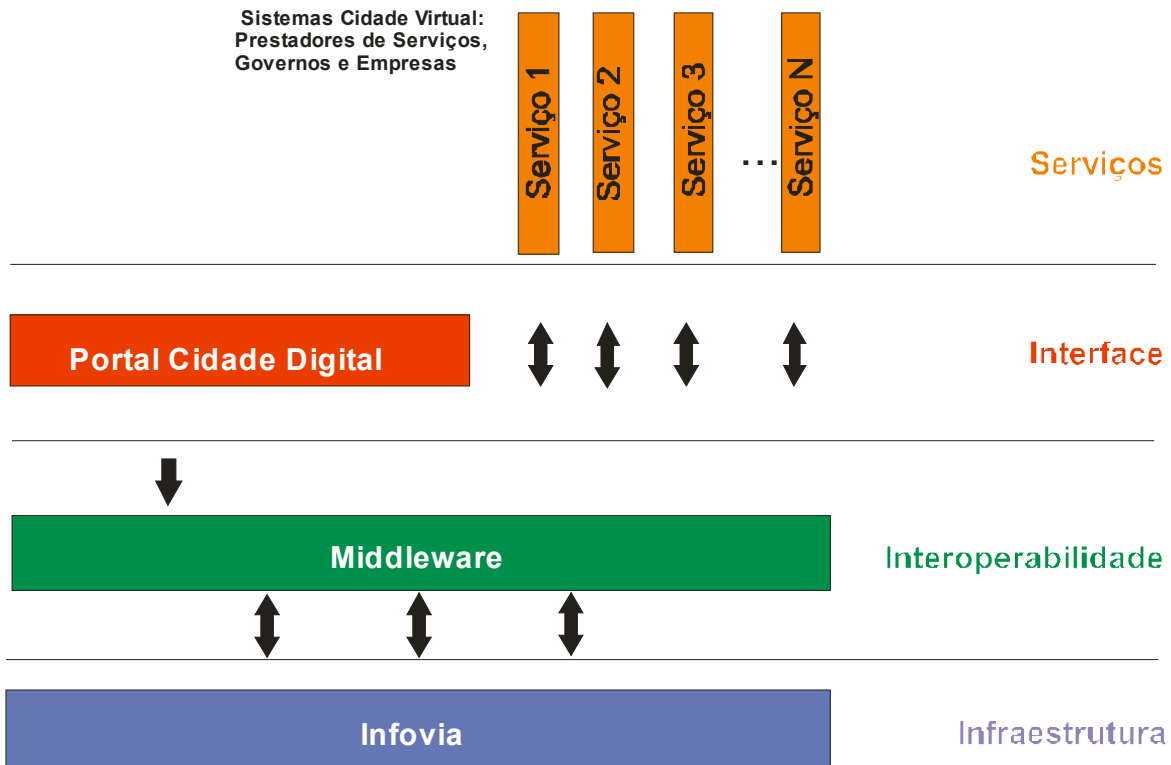


Fig 4-1: Arquitetura proposta para cidades digitais

A Camada de Infraestrutura, que será descrita na seção 4.1.1, estabelece as condições para que empresas prestadoras de serviços, comércio e os órgãos governamentais se interconectem. Nesta camada, será definida a infraestrutura e os serviços de redes que serão suportados pela cidade digital.

A Camada de Interoperabilidade, que será descrita na seção 4.1.2, trata dos aspectos de interação dos diversos sistemas distribuídos da cidade digital. Nesta camada, estamos propondo o desenvolvimento de um *middleware* P2P baseado no protocolo JXTA. O protocolo JXTA deverá garantir, por exemplo, que todas as transações realizadas na cidade digital obedeçam às regras de segurança em TIC. Além disso, ele define padrões como: Segurança IP, Criptografia, Desenvolvimento de Sistemas e Serviços de Rede.

Na seção 4.1.3 será abordada a Camada de Interface, que inclui todas as páginas web, dos serviços oferecidos na cidade digital, visitada pelos usuários.

A Camada de Serviços, que será descrita na Seção 4.1.4, aborda o conteúdo digital e serviços on-line oferecidos pelas cidades digitais.

#### **4.1.1 Infraestrutura**

A camada de infraestrutura está baseada nos padrões industriais, apoiado no grande crescimento da Internet e das redes baseadas no protocolo IP. Composta por redes cabeadas e/ou sem fio, públicas e/ou privadas, baseadas em padrões de interoperabilidade, deve suportar a convergência de múltiplos protocolos de comunicação.

A infraestrutura de comunicação da cidade digital deve permitir a transmissão de todos os tipos de informação, podendo ser construída sobre um grande número de redes e sistemas existentes como 3G, WiFi, Redes Comunitárias, Redes *Mesh*, Redes de Sensores, etc. Portanto, a infraestrutura base de uma cidade digital está associada a um conjunto de redes de comunicação e sensores heterogêneas interligadas. As redes de comunicação banda larga incluem as Redes Sem Fio (Wi-Fi), Redes de Celulares (GPRS, EDGE, 3G, HSDPA, 3G+, LTE), Redes WMAN (WiMAX), Redes de Malha Metropolitana (*Mesh*) [48,49] e as Redes híbridas [50,51]. As redes de sensores podem ser compostas por nós Zigbee, Motes e Tags RFID para citar apenas algumas das tecnologias capazes de coletar informações do ambiente e fornecer serviços de identificação e localização dos tipos de estabelecimento [52].

Os cidadãos digitais se conectam a cidade digital através de computadores, telefones celulares e PDAs. Os serviços e informações públicas on-line podem ser acessados em quiosques públicos, casas ou escritórios.

#### **4.1.2 Interoperabilidade**

A camada de interoperabilidade foi estruturada como um *middleware*, responsável pela organização e o intercâmbio da informação, interligando os sistemas distribuídos das cidades digitais.

Em [53], a Rede Nacional de Ensino e Pesquisa define *middleware* como um neologismo criado para designar camadas de software que não constituem diretamente aplicações, mas que facilitam o uso de ambientes heterogêneos. A camada de *middleware* concentra serviços como identificação, autenticação, autorização, diretórios, certificados digitais e outras ferramentas para segurança.

Aplicações tradicionais implementam vários destes serviços, tratados de forma independente por cada uma delas. As aplicações modernas, no entanto, delegam e centralizam estes serviços na camada de *middleware*. Ou seja, o *middleware* serve como elemento que aglutina e dá coerência a um conjunto de aplicações e ambientes.

O desenvolvimento do *middleware* para as cidades digitais, tal qual qualquer software, é uma tarefa complexa, que demanda tempo e organização. Para a criação do *middleware*, propomos a utilização do protocolo JXTA.

As próximas seções serão dedicadas a apresentar a estrutura do *middleware*, os aspectos de segurança, qualidade de serviço e a organização do catálogo de serviços.

#### **4.1.2.1 Estrutura do Middleware**

A principal característica de um *middleware* para as cidades digitais é a capacidade de interligar de maneira simples os serviços prestados por repartições públicas, iniciativa privada e o terceiro setor. Outro ponto importante é a disponibilização destes serviços em um único portal na web, de forma que os usuários possam navegar e acessar por todos os serviços de maneira fácil e segura.

Para a construção deste *middleware* para cidades digitais propomos a utilização de *Distributed Hash Table* (DHT), que permitem a publicação, busca e acesso a arquivos de forma simplificada, provendo transparência de acesso, localização, migração, persistência, concorrência, falha e replicação.

Para o desenvolvimento do *middleware* para as cidades digitais foi utilizado o framework JXTA, o qual fornece toda uma estrutura para implementação de uma rede P2P de terceira geração.

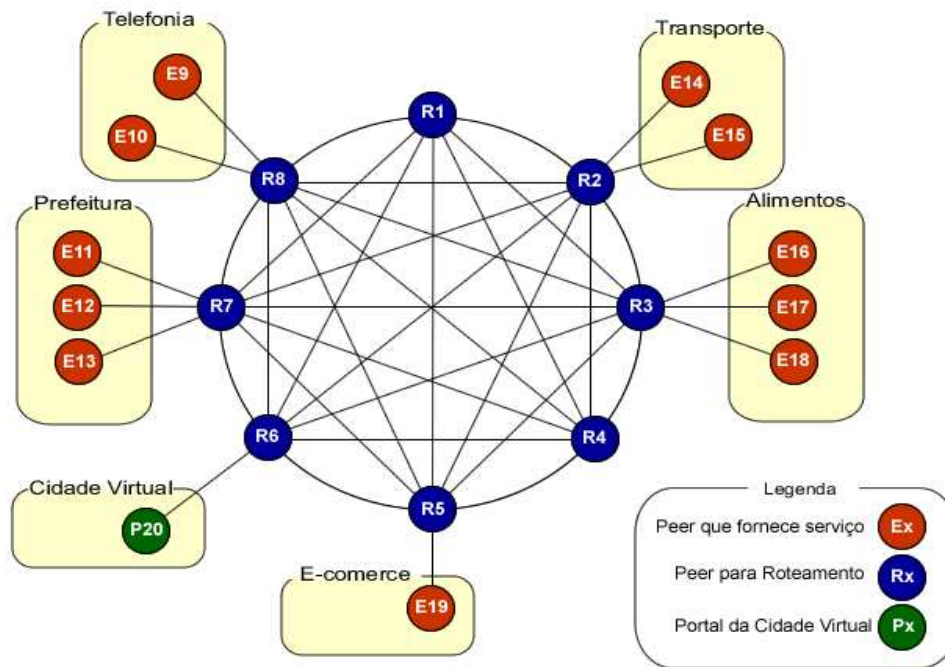


Fig 4-2: Rede overlay P2P

A figura 4-2 retrata a organização da rede overlay P2P utilizando o framework JXTA. Nesta figura, encontram-se grafados alguns serviços como telefonia, transporte, alimentação, governo e comércio. Estes serviços, como qualquer outro recurso presente em uma rede JXTA, estão diretamente conectados a um *rendezvous peer*.

Outro recurso que deverá ser conectado à rede é o portal da cidade digital (Camada de Interface). Com a função de indexação de todos os serviços presentes na rede e o controle de acesso, o portal da cidade digital está representado na figura 4-2 pelo serviço P20. Para prover suas funções, o portal deve obedecer quatro regras:

- Todos os *rendezvous peer* devem ser controladas por entidade públicas ou privadas consolidadas;
- Todos os serviços devem aparecer na rede como sendo *edges peers*;

- O portal das cidades digitais deve ser acessado através do protocolo HTTP de maneira convencional;
- O portal da cidade digital deve ser um *edge peer*.

Com relação ao desempenho, cada *peer* da rede JXTA deve fazer somente o trabalho que lhe foi designado. Os *randezvous peer* devem apenas aparecer como parte do roteamento, não exercendo nenhuma outra função. Os *relay peers* devem realizar somente os tunelamentos para prover acesso a dispositivos imersos em NAT ou firewall. Os *edge peers* devem, na arquitetura proposta, servir como porta de entrada na rede JXTA.

Desta forma, para um recurso ou serviço ser publicado na rede, este deve criar um *edge peer* e conectá-lo a um *randezvous peer* já presente na rede. Em casos de imersão em NAT ou Firewall, o *peer* deve assumir a utilização de um ou mais *relay peers*.

Para facilitar o acesso, tornando-o simples para a população, o acesso ao portal das cidades digitais, onde se encontram mapeados os serviços, deve ser realizado através do modelo HTTP convencional. A partir do portal, as outras requisições devem ser realizadas de maneira transparente para o usuário.

Encontrado ao mesmo nível de qualquer aplicação, o portal das cidades digitais deve acessar a rede JXTA da mesma forma utilizada por todos os outros dispositivos de sua categoria, através de *edges peer*.

O *middleware* para as cidades digitais foi dividido em três níveis hierárquicos, conforme a figura 4-3, projetado como um modelo orientado a serviços, independente e passível de sincronização com os demais.

O primeiro e mais baixo nível hierárquico consiste na utilização do framework de desenvolvimento de redes P2P JXTA. Este framework descrito na sessão 2.2 é utilizado como base para toda a aplicação que utilizar o *middleware*.

O segundo nível é composto pela camada de serviço e gerência de dispositivos. Este nível, além de conter todos os serviços básicos para o modelo de cidades digitais e estratégias para gerência de dispositivos, pode encapsular demais serviços que sejam úteis futuramente para a cidade digital. Os serviços do nível intermediário estão organizados como: serviços de

localização de *peers*, serviços de busca de *pipes*, serviços de envio de mensagens e serviços de recebimentos de mensagens.

O serviço de localização de novos *peers* na rede, permite a localização dos novos recursos disponibilizados, mantendo um *cache* para possível utilização futura.

Já o serviço de busca de *pipes* na rede realiza, de tempos em tempos, buscas para verificar a existência de novos *pipes* (dispositivo descrito na sessão 2.2.1.2) na rede.

Quanto ao serviço de envio de mensagens, possibilita a criação de um canal de comunicação para prover o envio de mensagens para um *peer* específico. Outra forma de atuação deste serviço é através da criação de canais de comunicação utilizando *pipe* propagador (descrito na sessão 2.2.1.2) para realizar uma distribuição de mensagens para todos os *peers* da rede, similar a uma mensagem broadcast na atual arquitetura da Internet.

O serviço de recebimento de mensagens é composto por dois serviços, responsáveis pelos recebimentos de mensagens enviadas tanto diretamente para o *peer*, através de um *pipe* ponto a ponto (descrito na sessão 2.2.1.2), quanto de forma broadcast, através de um *pipe* propagador.

Ainda no segundo nível, encontram-se as estratégias para o gerenciamento dos dispositivos como *cache* e publicador de dados. O primeiro é utilizado para controle e armazenamento de *advertisements* publicados na rede, de forma que o acesso a estes se tornem mais rápido e simples. O segundo, publicador de dados, é responsável por realizar todas as publicações de recursos realizadas pelo *peer*.

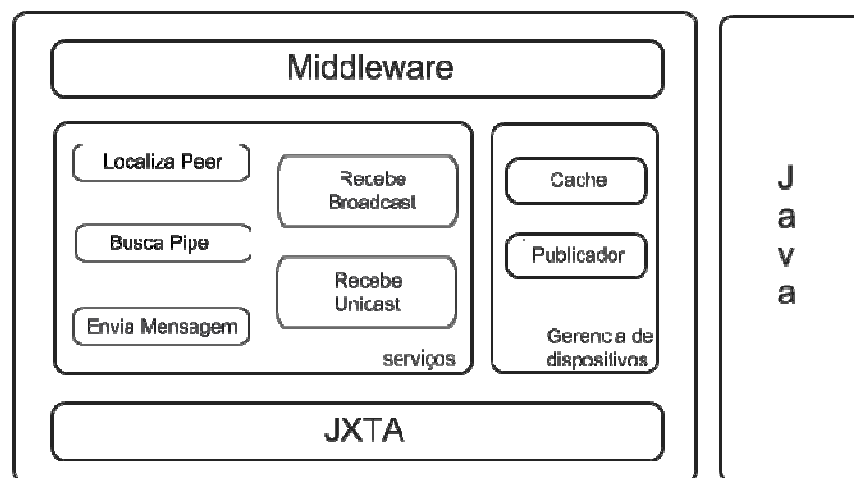


Fig 4-3: Organização do Middleware



No terceiro e último nível da arquitetura encontra-se o sistema de acesso ao *middleware*. Este sistema estabelece modelos para envio e recebimento de qualquer tipo de mensagens persistidas em um formato XML a ser definido pela aplicação que se utilizará do *middleware* como modelo de transferência de dados.

A interoperabilidade de informações e dados está baseada no uso de XML. Para a definição do formato dos dados é utilizado *XML Schema* (linguagem no formato XML) e para transformação utilizamos *Extensible Stylesheet Language* (XSL). Os padrões de interoperabilidade de informações e de metadados, estão mais bem descritos no Apêndice I - Padrão do Catálogo.

A comunicação entre os serviços distribuídos das cidades digitais deve ser realizada através do *middleware*, como podemos observar na figura 4-4.



Fig 4-4 - Intercâmbio via Middleware

#### 4.1.2.2 Aspectos de Segurança

Os requisitos de segurança de um sistema P2P são semelhantes a qualquer sistema de computação. Os três requisitos dominantes são a confidencialidade, integridade e disponibilidade. Eles se traduzem em requisitos de funcionalidades específicas que incluem a autenticação, controle de acesso, auditoria, criptografia e comunicação segura.

Tais requisitos são geralmente satisfeitos com um modelo ou arquitetura de segurança que resulte em temas, objetos e ações que os indivíduos possam executar. Por exemplo, o sistema operacional UNIX tem um modelo simples de segurança. Os usuários são pessoas. Os arquivos são objetos. Uma pessoa poderá ler, escrever ou executar um objeto contanto que possua permissão especificadas para o objeto. No entanto, em níveis mais baixos do sistema, o modelo

de segurança é expresso através de *User IDentification* (UID), *Group IDentification* (GID) e modos de permissão. Os modos de segurança utilizam o UID para definir qual o nível de permissão dos usuários e o GID é utilizado para definir o nível de permissão de um grupo de usuários.

Dado que o JXTA está definido em torno dos conceitos de *peers* e *peer groups*, pode-se vislumbrar uma arquitetura de segurança em que *peers IDs* e *group IDs* são tratados como indivíduos de baixo nível (como UID e GID), códigos e dados são tratados como objetos (como os arquivos) e as ações são tratadas como as operações nos *peers*, *peer groups* e códigos / dados.

Desenvolver uma arquitetura de segurança concreta e precisa é um processo. Com o acúmulo da experiência e com o desenvolvimento de serviços e aplicações JXTA, podemos definir melhor a arquitetura mais adequada.

A tecnologia JXTA é uma plataforma focada em mecanismos e não em políticas. Por exemplo, *Universal Unique Identifiers* (UUIDs) são utilizados por toda parte, mas não possuem qualquer significado externo. Sem adicionar nomeação e serviços de ligação, UUIDs são apenas números que não correspondem aos usuários ou entidades. Portanto, ao contrário dos sistemas computacionais, o JXTA não define um modelo de segurança de alto nível, tais como Fluxo de Informação, Bell-LaPadula ou Chinese Wall.

Quando UUIDs estão vinculados a nomes externos ou entidades de segurança, a autenticidade da ligação pode ser assegurada pelos atributos do campo de segurança, por exemplo, as assinaturas digitais que atestam a idoneidade da ligação. Uma vez que esta ligação foi estabelecida, podemos autenticar as entidades de controle de acesso, com base na política de segurança vigente e outras funções de contabilidade como o uso de recursos.

A tecnologia JXTA é neutra para os regimes de algoritmos criptográficos ou de segurança. Como tal, não impõe qualquer solução de segurança específica. Em tais casos, na melhor das hipóteses, procuramos construir uma arquitetura onde diferentes soluções de segurança possam ser incorporadas. Procuramos disponibilizar os requisitos necessários para que diferentes soluções de segurança possam ser implementadas. Por exemplo, toda mensagem tem um campo credencial designado para ser utilizado com as informações relacionadas à segurança. No entanto, interpretar essa informação está fora do escopo desta arquitetura, ficando a cargo dos serviços e aplicações.

A tecnologia JXTA pode satisfazer os requisitos de segurança, por vezes, em diferentes níveis do sistema. Para permitir a máxima flexibilidade e evitar a redundância, a tecnologia JXTA normalmente não força implementações particulares dos desenvolvedores. Em vez disso, a arquitetura procurou se adequar aos requisitos de segurança das comunicações e anonimato.

Na redes P2P a segurança das comunicações é realizada através de pipes. Buscando uma maior confidencialidade e integridade nos canais de comunicação, o modelo organizacional para cidades digitais propõe três soluções para garantir a segurança das cidades digitais. A primeira solução é utilizar VPNs para roteamento de todo tráfego da rede. Outra solução é a criação de pipes seguros, semelhantes a túneis protegidos, onde qualquer mensagem transmitida tem sua integridade garantida. Uma terceira solução é a utilização de mecanismos regulares de comunicação, ficando sob a responsabilidade dos desenvolvedores dos serviços e aplicações a utilização de técnicas de criptografia e assinatura digital. O *middleware* pode acomodar qualquer destas soluções.

Já o anonimato não significa a ausência de identidade. Na verdade, os serviços e aplicações da cidade digital devem ser identificados. Por exemplo, um número de celular ou um número de identificação do cartão SIM não podem ser mantidos anônimos, sendo necessário pela companhia telefônica para autorizar e estabelecer ligações. O endereço IP de uma estação de trabalho não pode ser mascarado por roteadores ou gateways ao trocar dados com a rede. Além disso, o anonimato pode ser construído em cima de uma identidade. O serviço de nomes do *middleware* permite que os *peers* se interliguem aos usuários, permitindo assim que usuários fiquem anônimos através do serviço de autenticação, serviço de *proxy* ou qualquer uma destas combinações. O *middleware* é independente da solução escolhida pelos serviços ou aplicações das cidades digitais.

Como mencionamos anteriormente, o *middleware* é independente de abordagens específicas de segurança. No entanto, estabelecemos um conjunto completo de primitivas para apoiar as soluções de segurança utilizadas pelos serviços e aplicações das cidades digitais.

Para a criptografia simples foi adotado MD5 [54], para os algoritmos de criptografia simétrica foi adotado RC4 e para os algoritmos de criptografia assimétrica foi adotado o Diffie-Hellman e RSA. São todas tecnologias fornecidas pela plataforma JXTA.

A autenticação está baseada no mecanismo *Pluggable Authentication Module* (PAM), integrando múltiplos esquemas de autenticação de baixo nível em uma API de alto nível. Permite

que os programas que dependem de autenticação sejam desenvolvidos independentes do esquema de autenticação subjacente.

O mecanismo de controle de acesso está baseado nos *peer groups*, onde um membro do grupo tem acesso automático aos dados oferecidos por outro membro, enquanto os não-membros não podem acessar esses dados. Enquanto os mecanismo de segurança de transporte forçam uma negociação criptográfica ou uma autenticação através de *pipe*, onde o *pipe* é unidirecional.

O uso generalizado do protocolo NAT e Firewalls afeta gravemente o bom funcionamento das cidades digitais, além da usabilidade do *middleware*. Pois, os *peers* externos a um firewall ou gateway, somente poderão trocar dados com os *peers* internos através de portas especiais de entrada no firewall ou gateway. A solução deste problema consiste em configurar os *nós peer* para utilizar o *relay peer* como ponte. Desta forma, o *peer* interno poderá acessar os *peers* externos, selecionando um *relay peer*, e anunciando amplamente esse fato. Depois, o *peer* interno periodicamente entra em contato com o *relay peer* para recuperar suas mensagens.

#### **4.1.2.3 Qualidade de Serviços**

Para Linnolahti [55], a tecnologia P2P é uma solução robusta para os requisitos de escalabilidade, anonimato e resistência a falhas. Do ponto de vista do mercado, o custo de propriedade pode ser o fator decisivo na opção de utilização da tecnologia P2P.

O possível emprego de uma vasta gama de arquiteturas de qualidade de serviços introduz um novo problema de interoperabilidade como garantir a ligação entre domínios com diferentes arquiteturas, sem degradar a qualidade de serviço fim-a-fim? Os padrões nesta área ainda estão incompletos e com muitas questões em aberto. Uma vez que as diferentes arquiteturas possuem diferentes mecanismos, faz se necessária uma alternativa que traga independência da tecnologia e garanta um controle de QoS interdomínios. Devido a complexidade do problema, as tecnologias de roteamento com qualidade de serviços para as redes P2P ainda estão em fase de investigação e em permanente evolução.

#### 4.1.2.4 Catálogo de Serviços

O modelo organizacional de cidades digitais proposto preconiza a adoção do XML e o desenvolvimento de *XML Schema* como fundamentos para a integração e interoperabilidade dos vários segmentos da sociedade.

Um elemento chave no desenvolvimento de *XML Schema* é um conjunto de padrões de dados que será usado nos esquemas e em outros processos de intercâmbio de dados.

A adoção de padrões de dados nas cidades digitais viabilizará, de forma mais fácil e eficiente, a troca e o processamento de dados. Os sistemas distribuídos podem ter suas respostas para integração e interoperação, encapsuladas em padrões XML aderentes aos padrões do Catálogo, de forma que, mesmo sem obedecer internamente ao padrão catalogado, possam comunicar-se fazendo uso dele (através de interfaces de tradução com baixo custo de implementação).

Os padrões propostos nesta tese foram baseados no Catálogo de Padrões de Dados do Projeto e-Ping (Padrões de Interoperabilidade de Governo Eletrônico) [56], desenvolvido para utilizar o *XML Schemas*. Os padrões são definidos em nível lógico (negócios), sem se preocupar com o formato físico de arquivamento de banco de dados.

O Catálogo de Padrões de Dados foi baseado na Especificação Técnica ISO/IEC 11179-5, estabelecendo as normas de atribuição de nomes para dados, tipos de dados e itens de dados. As regras de atribuição estão detalhadas no apêndice I.

O município será responsável por este catálogo, tanto pelo gerenciamento dos processos de mudanças, quanto pela disseminação desses padrões nos desenvolvimentos futuros. No desenvolvimento ou manutenção de sistemas, recomenda-se a adequação a este catálogo.

#### 4.1.3 Interface

Como já citado anteriormente, a arquitetura proposta para cidades digitais seguirá as tendências atuais de flexibilização e modularização dos sistemas e arquiteturas distribuídas. Isso possibilitará que o governo, empresas e cidadãos de diferentes grupos possam, por meio do portal da cidade digital, fornecer ou localizar os serviços e integrar seus aplicativos. Desta forma, o

desenvolvimento do portal da cidade digital (camada de interface) foi orientado tanto para o produto (programa) quanto para a sua aplicação (lógica).

Nas próximas seções apresentamos todo trabalho realizado no desenvolvimento e na organização do portal da cidade digital.

#### **4.1.3.1 Desenvolvimento do Portal**

Na fase de desenvolvimento, decidiu-se subdividir as atividades em cinco áreas distintas, análise, modelagem da base de dados, programação (plataforma e linguagem de programação), web design e testes.

Em função dessa subdivisão, faz-se necessária uma breve descrição das atribuições de cada área, onde se encontram alguns breves comentários sobre suas atividades e características.

##### ***Análise***

Nesta fase os requisitos do portal da cidade digital são analisados em detalhe. Este processo é necessário visto que é inevitável o surgimento de conflitos entre requisitos de diferentes fontes, existência de informação incompleta ou então requisitos incompatíveis com o orçamento disponível para o desenvolvimento do sistema. No entanto, deve existir alguma flexibilidade na negociação de requisitos para que seja possível definir um conjunto mínimo de requisitos necessários para o portal realizar o seu papel.

##### ***Modelagem da Base de Dados***

A fase de Modelagem de Dados é responsável pela atividade de especificação das estruturas de dados e regras de negócio necessárias para suportar uma área de negócios. Representa um conjunto de requisitos de informações de negócio. É uma parte importante do desenho de um sistema de informação.

## ***Programação***

Programação é a fase do Ciclo de Vida de um software (programa computacional, documentação e dados), que corresponde à elaboração e preparação dos módulos necessários a sua execução.

## ***Web Design***

A fase de web design pode ser vista como uma extensão da prática do design, onde o foco do projeto é a criação de web sites e documentos disponíveis no ambiente da web. A fase de web design tende à multidisciplinaridade, uma vez que a construção de páginas web requer subsídios de diversas áreas técnicas, como a arquitetura da informação, programação, usabilidade, acessibilidade entre outros são tratadas nesta fase.

A preocupação fundamental da fase de web design é agregar os conceitos de usabilidade com o planejamento da interface, garantindo que o usuário final atinja seus objetivos de forma agradável e intuitiva.

## ***Testes***

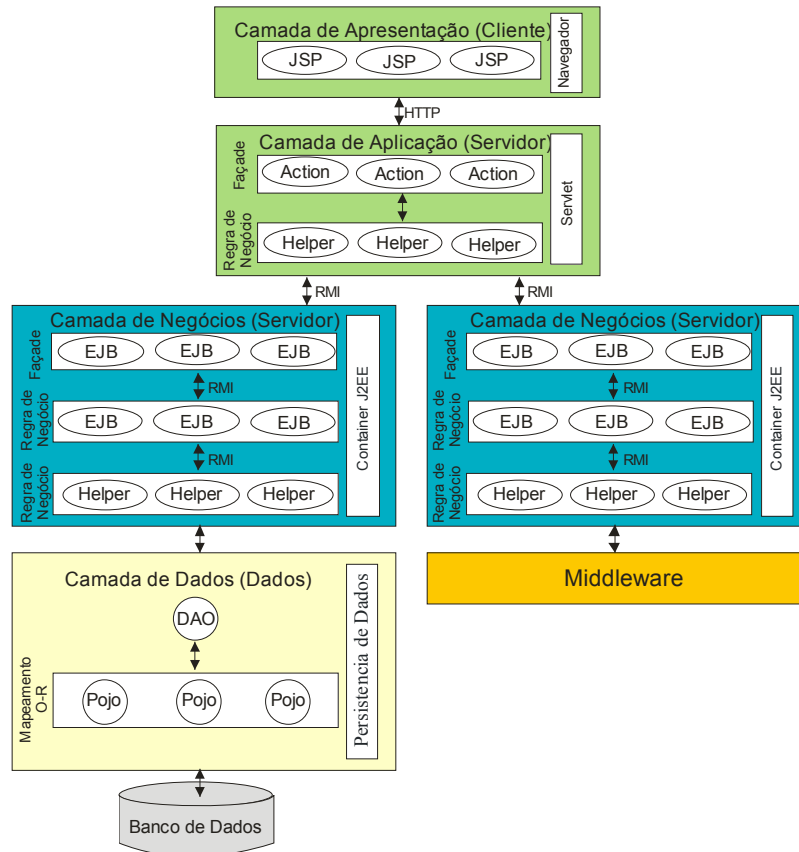
A fase de testes tem como objetivo verificar se todas as funcionalidades do sistema, especificadas na fase de análise, foram desenvolvidas atendendo todos os requisitos. Os testes são realizados buscando garantir que a qualidade do sistema seja avaliada de forma incremental, facilitando também os trabalhos de correção de eventuais defeitos encontrados.

### **4.1.3.2 Organização do Portal**

O portal web para cidade digital consiste em um motor de busca de áreas subordinadas com conteúdos próprios, área de notícias, fóruns e outros serviços de geração de comunidades e um diretório, podendo incluir ainda outros tipos de conteúdos.

Esta tarefa poderá ser realizada através de ferramentas de *Content Management Systems* (CMS), pois criam um nível de abstração elevado além de estabelecer os perfis dos usuários das cidades digitais.

O portal da cidade digital tem como função comunicar-se de forma transparente com outros sistemas (semelhante ou não) das cidades digitais através do *middleware*, desenvolvido utilizando como padrão o *Model-View-Controller* (MVC) [57]. Buscando maior flexibilidade e segurança, separamos a comunicação dos clientes da lógica de negócios. Para isso, criamos uma camada de aplicação responsável por despachar requisições e controlar seus fluxos. A arquitetura (figura 4-5) modelada em 4 camadas (apresentação, aplicação, negócios e dados) permite uma maior flexibilidade adaptando-se aos ambientes heterogêneos das cidades digitais.



**Fig 4-5: Modelo organizacional do portal das cidades digitais**

O modelo de quatro camadas retira o processamento do cliente e centraliza em um determinado ponto, o qual na maioria dos casos é um servidor Web. Com isso, os próprios



clientes deixam de existir como um programa que precisa ser instalado em cada computador da rede. O acesso à aplicação é feito através de um navegador.

Esta arquitetura impõe algumas exigências aos clientes, como um navegador *HyperText Markup Language* (HTML), permitindo que esta arquitetura seja independente de plataforma. Não há necessidade de instalar/atualizar os sistemas nos computadores dos usuários. As modificações são realizadas diretamente no servidor principal, transparente ao usuário [57]. O modelo quatro camadas é constituído pelas camadas de apresentação, aplicação, negócios e dados.

A camada de apresentação trata aspectos relacionados à apresentação e entrada de dados de usuário permitindo a integração de sistemas distribuídos. Para o desenvolvimento da camada de apresentação utilizamos *Java Server Pages* (JSP).

Já a camada de aplicação é responsável por despachar requisições e controlar seus fluxos. A arquitetura propõe que esta camada desempenhe o papel de comunicação direta com o módulo responsável pela apresentação e entrada de dados de usuário.

Para a construção deste modelo, propomos centralizar a lógica de requisições, facilitando a implementação do controle de segurança e acesso ao sistema. Adotamos o framework *Struts* para desenvolvimento da camada controladora [57].

A camada de negócios compreende tudo aquilo que for necessário para construir um sistema completo de gerenciamento através dos componentes *Enterprise JavaBean* (EJB). Desta forma, o objetivo é fornecer uma estrutura para implementação de distribuição, visando separação de conceitos e conseqüentemente fatores de qualidade como modularidade, extensibilidade e reusabilidade. Os componentes EJB do tipo *Session Beans* ficam responsáveis por gerenciar o acesso concorrente aos serviços providos pelo sistema.

A especificação EJB é um dos principais componentes da plataforma *Java 2 Enterprise Edition* (J2EE). É um componente do tipo servidor executado no container do servidor de aplicação. Os principais objetivos da tecnologia EJB são fornecer um rápido e simplificado desenvolvimento de aplicações Java baseado em componentes distribuídos, transacionais, seguros e portáteis [58].

A arquitetura propõe que o acesso aos dados seja feito através de um conjunto de interfaces cuja finalidade é a de tornar mais simples a persistência e recuperação de modelos de objetos.

Este modelo possibilita a persistência de forma transparente dos modelos de objetos. O desenvolvimento ou a integração de bases heterogêneas se torna mais simples quando mudamos o foco da camada de persistência para a lógica do próprio aplicativo.

Propomos nesta camada a utilização do framework *Hibernate* [59] para o mapeamento objeto-relacional escrito na linguagem Java. Este framework facilita o mapeamento dos atributos entre uma base tradicional de dados relacionais e o modelo objeto de uma aplicação, mediante o uso de arquivos XML para estabelecer esta relação.

#### **4.1.4 Serviços**

Na arquitetura proposta para cidades digitais, a camada de serviços é uma camada conceitual, caracterizada por uma série de serviços que exercem funções de negócios individuais.

A camada de serviços contém aplicativos de software que fornecem informações e serviços públicos ou privados aos cidadãos e empresas. Esta camada deve interagir com a camada de interoperabilidade através de uma única interface, agrupando todos os serviços disponíveis da cidade digital, evitando a duplicação de informação. Alguns exemplos de serviços que podem ser oferecidos pela cidade digital são: monitoramento do meio urbano, gestão do transporte e logística, segurança, artes e entretenimento, comunicação corporativa e institucional, serviços individuais e serviços personalizados.

Hoje os cidadãos estão conectados ao governo, empresas e entre si, utilizando uma variedade de dispositivos e redes heterogêneas. O acesso ocorre em grande parte através de redes integradas e aplicações isoladas. Existem sites independentes para informações turísticas, serviços sociais, fins comerciais entre outros, obrigando os cidadãos, empresas e agências governamentais a coordenar as transações entre estes serviços de forma manual.

Já a arquitetura proposta de cidade digital se baseia na distribuição horizontal dos clientes e dos servidores. Nessa distribuição, um cliente ou um servidor podem estar fisicamente divididos em partes logicamente equivalentes, onde cada parte opera sobre a sua própria porção dos dados, gerando um balanceamento natural da carga. O portal da cidade digital funciona como um ambiente integrado de informações e serviços, facilitando a busca por informações nas diversas fontes disponíveis, a tomada de decisão e proporcionando maior produtividade.

## 4.2 Considerações

A arquitetura proposta por Komninos na seção 3.2.1, constituída na cidade digital multiuso de Kyoto (descrita na seção 3.3.4), foi concebida como aglomerados multidimensionais, combinando três dimensões.

As primeiras e segundas dimensões representam as pessoas e instituições da cidade: a inteligência, a inventividade e a criatividade dos indivíduos que vivem e trabalham na cidade, buscando o desenvolvimento local através da cooperação do conhecimento e da inovação. A terceira dimensão é relacionada com a inteligência artificial embutida no ambiente físico da cidade, e disponível para sua população: formada por infraestrutura de comunicação, pelos espaços digitais e pelas ferramentas públicas. Os serviços oferecidos estão baseados em um grande número de sensores distribuídos pela cidade e consultados através de imagens geográficas 2D e simulações 3D dos principais edifícios, exigindo uma grande capacidade de armazenamento, transmissão dos dados e processamento das estações de trabalho.

Já arquitetura proposta por Anthopoulos na seção 3.2.2, apresenta a necessidade de uma camada de infraestrutura com cobertura metropolitana, baseada em redes Wi-Fi para residências e tecnologia FTTH para empresas. Neste caso, os serviços da cidade digital serão oferecidos através de um sistema central de informação, simplificando a localização de serviços. Por outro lado, isto dificulta a interoperabilidade entre os múltiplos sistemas legados.

Durante a análise das arquiteturas de Komninos e Anthopoulos, constatamos a necessidade de aprimorar as soluções adotadas, ao mesmo tempo em que apresentamos as tendências no desenvolvimento de arquiteturas para cidades digitais. Definimos que a arquitetura pode ser estabelecida por meio de uma estrutura de quatro camadas. As camadas de Serviços (Aplicações/Sistemas Distribuídos), Interface (Portal Web) e Interoperabilidade (*Middleware*) formam a parte lógica das cidades e estão intimamente relacionadas. A camada de Infraestrutura (Rede de Dados) forma a parte física, independente das camadas lógicas.

A camada de infraestrutura forma uma rede de comunicação utilizada como meio físico para interoperabilidade dos elementos lógicos das cidades digitais, permitindo a transmissão de todos

os tipos de informação, podendo ser construída sobre um grande número de redes e sistemas existentes (3G, WiFi, Redes Comunitárias, Redes Mesh, Redes de Sensores, etc.).

A camada de interoperabilidade (*Middleware*) permite o intercâmbio da informação, interligando os sistemas distribuídos das cidades digitais através da plataforma de redes P2P, baseado no protocolo JXTA.

Já as camadas de interface (Portal Web) e serviços (Aplicações) formam uma estrutura de conteúdos e serviços digitais distribuídos e oferecidos on-line, conectados as cidades digitais através de interfaces amigáveis, tornando a interoperabilidade dos sistemas distribuídos transparente.

Desta forma, podemos conceber uma arquitetura genérica e customizada, podendo servir a qualquer conceito de cidade digital, especializada em sites de comércio, governo ou serviços eletrônicos.

# Capítulo 5

## Estudo de Caso

Tendo já definido, nos capítulos anteriores, elementos, formatos, estruturas e relações que compõem a arquitetura proposta, será apresentado a seguir o protótipo da arquitetura de cidade digital proposto, desenvolvido para a cidade de Pedreira.

A metodologia empregada no desenvolvimento do protótipo não está em discussão neste trabalho, entretanto a realização de atividades relacionadas à engenharia de software (testes, análises, etc.), foi fundamental para o desenvolvimento da cidade digital de Pedreira.

Nas próximas seções, será apresentado como as decisões resultantes da arquitetura proposta foram enviadas à área de produção e como foram postas em prática.

### 5.1 Camada de Infraestrutura

A camada de infraestrutura estabelece as condições para que todos os segmentos da cidade se interconectem, além de fixar as condições de interoperação entre os elementos digitais e os cidadãos. Neste protótipo, foi utilizada a rede metropolitana de acesso aberto da cidade de Pedreira (Infovia) como camada de infraestrutura. Desenvolvida em 2007, a Infovia de Pedreira consiste em uma infraestrutura principal, composta por um backbone óptico Gigabit Ethernet, complementado por células de acesso sem fio baseada nos padrões da IEEE 802.11 A e G. A figura 5-1 apresenta modelo de distribuição através do acesso sem fio utilizado na cidade.

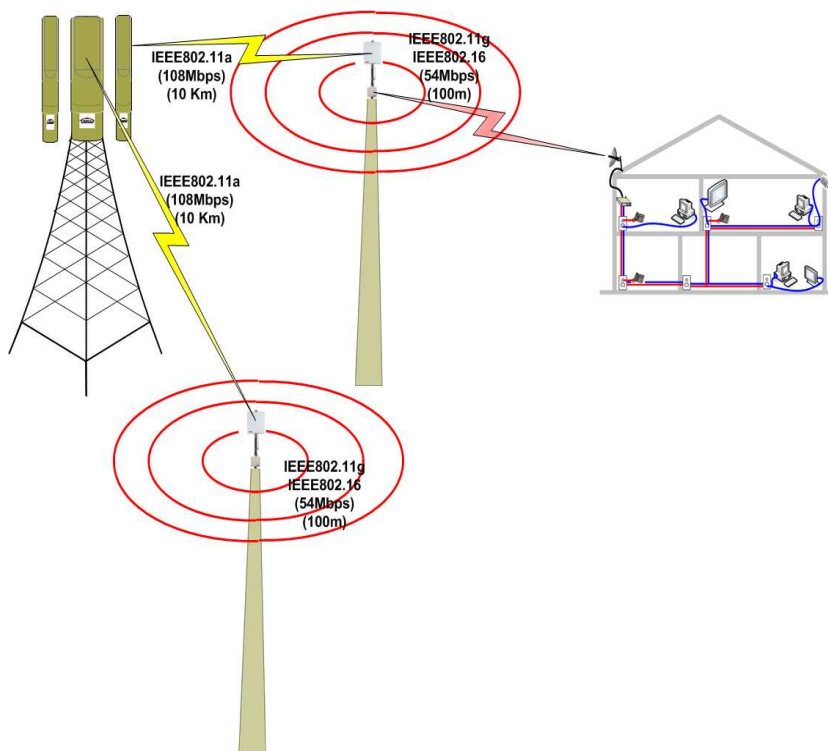


Fig 5-1: Modelo de Distribuição Sem Fio da Cidade de Pedreira

## 5.2 Camada de Interoperabilidade

A camada de interoperabilidade trata dos aspectos de interação dos diversos sistemas distribuídos da cidade digital. A camada de interoperabilidade deve garantir a organização e o intercâmbio da informação, através de transações que obedecem às regras de segurança em TIC.

Neste protótipo, foi desenvolvido um modelo simplificado do *middleware* proposto para gerenciar o intercâmbio de dados da cidade digital de Pedreira, como podemos observar na figura 5-2. O sistema desenvolvido foi escrito na linguagem Java, conta com uma implementação em nível de serviços dispostos através de modelos de *Threads*, controladas por um *kernel*.

O *middleware* é composto por módulos complementares entre si, formando um sistema único de interoperabilidade com os serviços e aplicações oferecidos pelas cidades digitais.

Os *peers* poderão enviar dados na forma de *Broadcast* ou *Unicast*. Os pacotes possuem dois parâmetros, o primeiro é um objeto contendo a mensagem XML a ser transportada para o *peer* de destino, e o segundo uma cadeia de caracteres cujo conteúdo é o identificador do *peer* na rede.

Em casos de mensagens *Broadcast*, ao segundo parâmetro é atribuído o valor nulo. O *middleware* tem como característica o bloqueio do processo durante o recebimento de dados pelos *peers*.

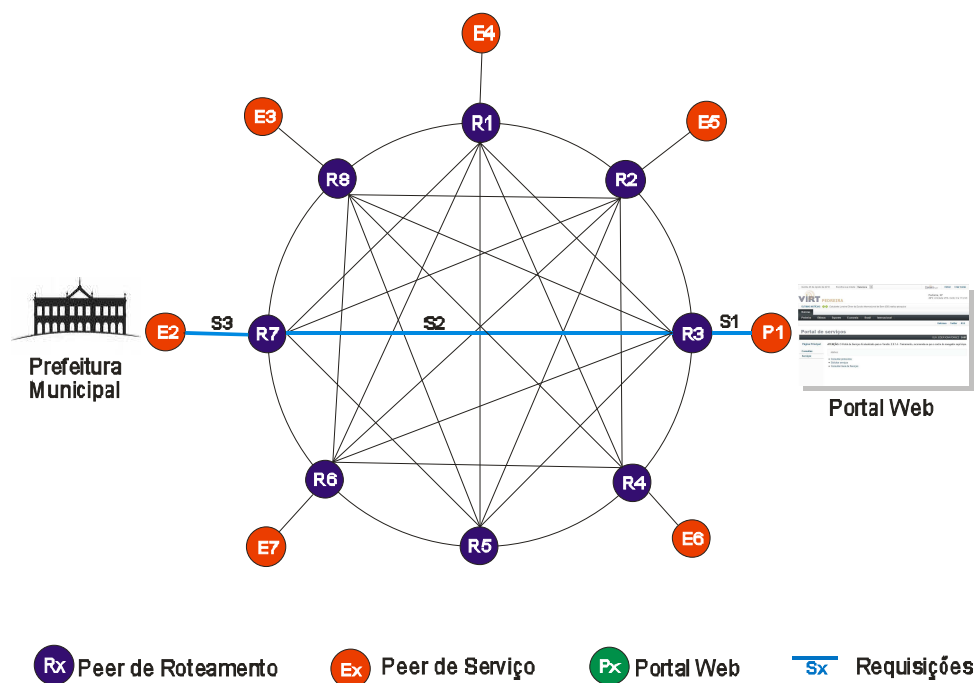


Fig 5-2: Protótipo do *middleware* para cidade digital de Pedreira

### 5.3 Camada de Interface

Para a camada de interface, desenvolvemos o portal da cidade digital como centro distribuidor de conteúdo para uma série de serviços distribuídos pela Prefeitura Municipal de Pedreira. Apresentando uma estrutura comum, o portal digital consta de um motor de busca, um conjunto de áreas subordinadas com conteúdos próprios, uma área de notícias, fóruns e outros serviços de geração de comunidades.

Devido ao grande volume de informação, para desenvolver o Portal foi utilizado um sistema de *Content Management Systems* (CMS). A utilização do CMS permite separar a identidade visual dos dados de conteúdo, possibilitando a criação de interfaces customizadas através da utilização de *templates*.

### 5.3.1 Portal Pedreira Digital

Os portais das cidades digitais, além de divulgar informações, interagem com os cidadãos, empresas e governo. Para o desenvolvimento do portal da cidade digital de Pedreira, optamos pelo CMS *Joomla! 1.5* e pelo sistema de groupware *Zimbra Collaboration Suite* [60].

O CMS *Joomla* permitiu a parametrização do design das telas, além de possuir informações e indicações dos dados que devem ser fornecidos pelo usuário.



**Fig 5-3: Portal da cidade digital de Pedreira**

Conforme podemos observar na figura 5-3, o portal da cidade digital de Pedreira oferece acesso on-line (instantâneo) e organizado às informações e aplicações da cidade. Desta forma, a interação com o usuário se torna mais rápida, com informações mais completas e detalhadas.

O usuário poderá, além de utilizar os recursos de agência de notícias, fóruns, agenda e e-mail, consultar e utilizar todos os serviços digitais oferecidos, como por exemplo, Pedido de Poda de Árvores, Pedido de Fiscalização, Emissão de Certidões Negativas de Débitos, etc. A figura 5-4 apresenta o mecanismo de autenticação do usuário no Portal para utilização dos serviços digitais.



**Fig 5-4 - Autenticação do portal da cidade digital**

Na área restrita do Portal, como podemos observar na figura 5-5, o usuário terá acesso ao mecanismo de busca de serviços. O mecanismo de busca de serviços está acoplado à camada de interoperabilidade (*middleware*) da cidade digital através de um *peer*. O usuário poderá localizar todos os serviços digitais oferecidos no município de Pedreira pela cidade digital.

Código	Serviço	Descrição
1227	PEDIDO DE FISCALIZAÇÃO	PEDIDO DE FISCALIZAÇÃO DE QUALQUER NATUREZA.

**Fig 5-5: Pesquisa de Serviço no Portal da cidade digital**

O usuário poderá escolher o serviço que deseja, através de detalhes como descrição, fornecedores, preços, estoque, etc. Os detalhes dos Serviços e *Peers* estão registrados no banco de dados do Portal Pedreira Digital através das funcionalidades do Catálogo. Uma vez que o espaço de memória para esses registros não constitui um obstáculo, podem-se enriquecer os cadastros com informações complementares.

O banco de dados utilizado deve preencher requisitos como: ser normalizado, dar possibilidade de relacionamento entre tabelas distintas e permitir a adição de tipos de dados e registros, consolidando/fornecendo as mesmas informações para todos os segmentos das cidades digitais.

Selecionado o serviço desejado, serão apresentados os campos obrigatórios, como endereço da ocorrência, descrição (figura 5-6).

The screenshot shows the VIRT Pedreira digital city portal. At the top, there is a date 'Quinta, 26 de Agosto de 2010' and a city selection dropdown set to 'Selecione'. Navigation links for 'Entrar' and 'Criar Conta' are visible. The VIRT logo and 'PEDREIRA' are prominently displayed. A weather widget shows 'Pedreira, SP' with '29°C Umidade: 25% Vento: N a 11 km/h'. A news section titled 'ÚLTIMAS NOTÍCIAS' features a headline about a student's research. Below this is a navigation menu for 'Notícias' with sub-links for 'Pedreira', 'Últimas', 'Esportes', 'Economia', 'Brasil', and 'Internacional'. Social media links for 'Delicious', 'Twitter', and 'RSS' are also present. The main heading is 'Portal de serviços', and the user is logged in as 'OLÁ, EDER IGNATOWICZ SAIR'. A sidebar on the left contains a menu with options like 'Página Principal', 'Consultas', 'Serviços', 'Requerer Serviços', 'Consulta Guia Serviços', and 'Alterar Senha'. The main content area is titled 'Pedido de Fiscalização' and contains a form with the following fields:
 

- Requerente:**
  - Idm: 168865
  - Nome: EDER IGNATOWICZ
- Serviço Requisitado:**
  - Id serviço: 1227
  - Serviço: PEDIDO DE FISCALIZAÇÃO
- Endereço da Ocorrência:**

Rua/av.	Número	Complemento	Bairro	CEP
ANTONIO ELIAS	53	Apto 10	CENTRO	13.920-000
- Motivo:**

Pedido de fiscalização de obras de infraestrutura, adequação física e dragagem em 16 portos, previstas na Lei 11.973/09.

 At the bottom right of the form, there are 'SALVAR' and 'VOLTAR' buttons.

**Fig 5-6: Solicitar um serviço pelo portal da cidade digital**

Ao confirmar a solicitação, o portal da cidade digital encaminha o usuário para emissão do comprovante de solicitação do serviço (figura 5-7).

Quinta, 26 de Agosto de 2010 Escolha sua cidade.: Selezione

VIRT PEDREIRA Pedreira, SP 29°C Umidade: 25% Vento: N a 11 km/h

ÚLTIMAS NOTÍCIAS Estudante Loraine Elner da Escola Internacional de Bern (ISB) realiza pesquisa

Notícias Pedreira Últimas Esportes Economia Brasil Internacional

Delicious Twitter RSS

Portal de serviços OLÁ, EDER IGNATOWICZ. SAIR

Página Principal Comprovante do pedido de fiscalização - 2010000000013

Consultas Quinta-feira, 26 de Agosto de 2010

Serviços Exmo. Sr. Prefeito de Pedreira

Requerer Eu, EDER IGNATOWICZ, CPF/CNPJ nº 038819809-54, IDM 168665, venho por meio desta solicitar o serviço de PEDIDO DE FISCALIZAÇÃO de

Serviços 08:00 até 17:00 na Rua/Av. ANTONIO ELIAS, nº. 53 - APTO 10, pelo seguinte motivo:

Consulta Guia PEDIDO DE FISCALIZAÇÃO DE OBRAS DE INFRAESTRUTURA, ADEQUAÇÃO FÍSICA E DRAGAGEM EM 16 PORTOS, PREVISTAS NA LEI

Serviços 11.973/09.

Alterar Senha OK IMPRIMIR

Fig 5-7: Comprovante da solicitação do serviço

## 5.4 Camada de Serviços

A camada de serviços contém os sistemas que fornecem informações e serviços públicos aos cidadãos e empresas, como portais de governo e comércio eletrônico, serviços sociais (por exemplo, tele-atendimento), serviços geoespaciais, etc. Esta camada deve interagir com a camada de interoperabilidade através de uma interface única, agrupando todos os serviços disponíveis da cidade digital, evitando a duplicação de informação.

Para validar a arquitetura proposta de cidades digitais, foi adaptado o Sistema de Governança Digital (SGD) da Prefeitura Municipal de Pedreira.

O SGD é uma solução para automação da administração de prefeituras, capaz de abranger todos os setores da administração municipal. Desenvolvido pelo Laboratório de Redes de Comunicação (LaRCom) da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), o SGD tem como objetivo atender as necessidades dos municípios oferecendo um software de baixo custo, integrado e de fácil manutenção.

Para tornar os serviços do SGD disponíveis na cidade digital de Pedreira, foram adicionadas as bibliotecas do *middleware* no SGD, tornando a aplicação um *Edge Peer* da cidade digital. Também foram adaptadas as funcionalidades do Módulo de Protocolo do SGD, responsável pelo cadastramento e pela tramitação de todas as requisições de serviços públicos realizadas na Prefeitura Municipal de Pedreira. As adaptações das funcionalidades do Módulo de Protocolo

permitiram que todas as requisições de serviços públicos abertas pelo Portal da Pedreira Digital, fossem encaminhadas automaticamente ao SGD (Módulo de Protocolo) de forma transparente para os usuários e para Prefeitura Municipal de Pedreira.

### 5.5 Interação entre as Camadas do Protótipo

A figura 5-8 apresenta a sequência de transações (mais especificamente, as mensagens trocadas entre as camadas) realizadas durante um processo de solicitação de serviços no portal da cidade digital de Pedreira.

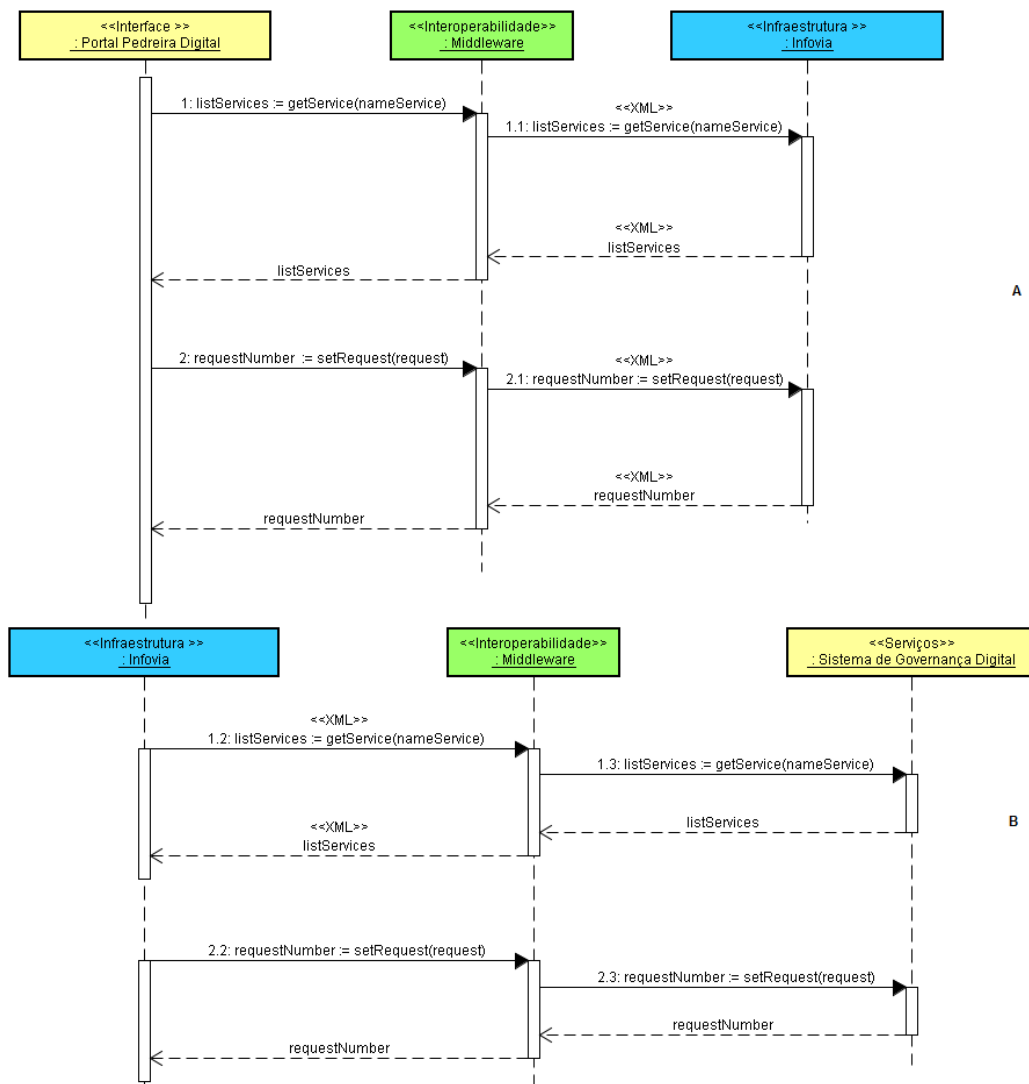


Fig 5-8: Interação entre as camadas da cidade digital

A arquitetura implantada possibilita a troca de mensagens de forma transparente entre Portal Pedreira Digital (Camada de Interface) e o Sistema de Governança Digital (Camada de Serviço) através do *middleware* (Camada de Interoperabilidade).

Para facilitar o entendimento da arquitetura da cidade digital, as solicitações realizadas à Prefeitura Municipal de Pedreira através do Portal da Cidade Digital e apresentadas na figura 5-8 foram descritas a seguir, passo a passo:

1. **Buscando Serviços:** Na área restrita do Portal Pedreira Digital, o usuário tem acesso ao serviço do motor de busca. Para a cidade digital o Portal Pedreira Digital é um *edge peer*, um dispositivo da rede *overlay* que implementa o protocolo da rede virtual JXTA, identificado unicamente por um ID gerado através da execução de funções *hash*. Desta forma, o motor de busca está interligado ao *middleware* da cidade digital, permitindo aos usuários localizar todos os serviços digitais oferecidos pela cidade digital de Pedreira. Ao informar o assunto desejado, o *edge peer* Portal Pedreira Digital deverá utilizar os serviços de indexação e roteamento fornecidos pelo protocolo JXTA. Assim, o *edge peer* Portal Pedreira Digital consultará seu *rendezvous peer*, que contém um índice dos outros *rendezvous peer* da rede. A requisição será propagada entre os *rendezvous peer*, na qual cada *rendezvous peer* faz uma requisição para seu vizinho no espaço de nome, pelo qual a requisição não tenha ainda sido processada e a requisição circula pela rede até que os possíveis *peers* sejam encontrados. A figura 5-9, apresenta o arquivo XML gerado pelo *middleware* com a requisição de pesquisa do serviço.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<digital_city_message>
  <header>
    <type>InfoEvent</type>
    <from>Digital Portal</from>
  </header>
  <body>
    <service>
      <consulta>
        <name>Fiscalização</name>
      </consulta>
    </service>
  </body>
</digital_city_message>
```

Fig 5-9: Arquivo XML com a requisição de pesquisa

- Resposta da pesquisa:** O *edge peer* Portal Pedreira Digital apresentará a relação de *peers* encontrados, permitindo que os usuários escolham o serviço desejado, através de detalhes como a descrição, fornecedores, preços, estoques, etc. Ao selecionar o serviço desejado o *edge peer* Sistema de Governança Digital receberá uma requisição e verificará que o *edge peer* Portal Pedreira Digital tem acesso ao serviço, então encaminhará uma mensagem direta para o *edge peer* Sistema de Governança Digital. Neste momento é estabelecida uma conexão ponto a ponto entre os dois *edges peer*. A figura 5-10, apresenta o arquivo XML gerado pelo *middleware* com resultados de pesquisa do serviço.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<digital_city_message>
  <header>
    <type>InfoEvent</type>
    <from>Digital Portal</from>
  </header>
  <body>
    <service>
      <servico>
        <cod>1227</cod>
        <name>Pedido de Fiscalização</name>
        <description> Pedido de Fiscalização de qualquer natureza</description>
      </servico>
    </service>
  </body>
</digital_city_message>
```

Fig 5-10: Arquivo XML com o resultado da pesquisa

- Solicitando Serviço:** Os usuários deverão preencher os detalhes da requisição como os campos obrigatórios do serviço selecionado, endereço, descrição, etc. A troca de mensagens passa a ser realizada pela conexão ponto a ponto entre os dois *edges peers*. A figura 5-11, apresenta o arquivo XML gerado pelo *middleware* com os dados do pedido.

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<digital_city_message>
  <header>
    <type>InfoEvent</type>
    <from>Digital Portal</from>
  </header>
  <body>
    <requests>
      <user>
        <idm>168665</idm>
        <name>Eder Ignatowicz</name>
        <address>Antonio Elias</address>
        <cep>13920000</cep>
        <city>Campinas</city>
        <uf>SP</uf>
        <country>Brasil</country>
        <tel></tel>
        <email></email>
      </user>
      <request>
        <service>1227</service>
        <name>Pedido de Fiscalização</name>
        <description> Pedido de fiscalização de obras de infraestrutura, adequação física
          e drenagem em 16 portos, previstas na Lei 11.973/09.
        </description>
      </request>
    </requests>
  </body>
</digital_city_message>

```

Fig 5-11: Arquivo XML com os dados do pedido

4. **Obtendo Protocolo de Identificação do Serviço:** Se o pedido for aprovado, o *edge peer* Sistema de Governança Municipal encaminha um mensagem para o *edge peer* Portal Pedreira Digital apresentando ao usuário o protocolo do pedido de identificação de serviço.

Todo processo da cidade digital de Pedreira está baseado nos serviços de indexação e roteamento fornecidos pelo protocolo JXTA. Os *rendezvous peers* contam somente com parte dos índices dos outros *rendezvous peer* presentes na rede, ficando a cargo do *Shared Resource Distributed Index* (SRDI) o mapeamento de índices de recursos na rede. Este recurso é utilizado durante a publicação de um *advertisement* (serviço) de *peer*. Caso o serviço desejado não seja localizado, é utilizada a busca *Random Walker*. A busca *Random Walker* consiste em uma sequência de requisições propagadas por *rendezvous peer*, na qual cada *rendezvous peer* faz uma requisição para seu vizinho no espaço de nome, tentando localizar o serviço desejado. A requisição circularia pela rede até que o *peer* fosse encontrado ou o número de passos fosse maior que o definido, ou ainda, o próximo vizinho fosse um *rendezvous peer* que já processou a requisição.

## 5.6 Arquitetura Física do Protótipo

A arquitetura física do protótipo, apresentada na figura 5-11, consiste em uma infraestrutura principal, composta por um backbone óptico Gigabit Ethernet, complementado por células de acesso sem fio baseada nos padrões da IEEE802.11 A e G. A camada de infraestrutura permite ainda o acesso ao Portal Pedreira Digital (camada de interface) através de telefones celulares e dispositivos portáteis. A camada de interoperabilidade (*middleware*) se relaciona com todas as outras camadas, aplicando suas regras e modelos para todos os aplicativos e sistemas distribuídos da cidade.

A camada de interoperabilidade desenvolvida com a tecnologia P2P baseada no protocolo JXTA, foi constituída por módulos dotados com APIs de acesso de alto nível que proporcionaram a sua integração com o Portal de Serviços (camada de interface) e o Sistema de Governança Digital (camada de serviços).

Já o Sistema de Governança Digital está hospedado na Prefeitura Municipal de Pedreira, desenvolvido na plataforma Java (*Enterprise Edition*) e possui bibliotecas que permitem o desenvolvimento de sistemas distribuídos e multicamada, baseado amplamente em componentes modulares executados em um servidor de aplicações.

A arquitetura física do protótipo está caracterizada pela descentralização das funções na rede, onde cada *nó* realiza tanto funções de servidor quanto de cliente. Desta forma, tanto o Portal de Serviços quanto o Sistema de Governança Digital estão fisicamente divididos em partes logicamente equivalentes, onde cada parte opera sobre a sua própria porção dos dados, permitindo o balanceamento da carga.



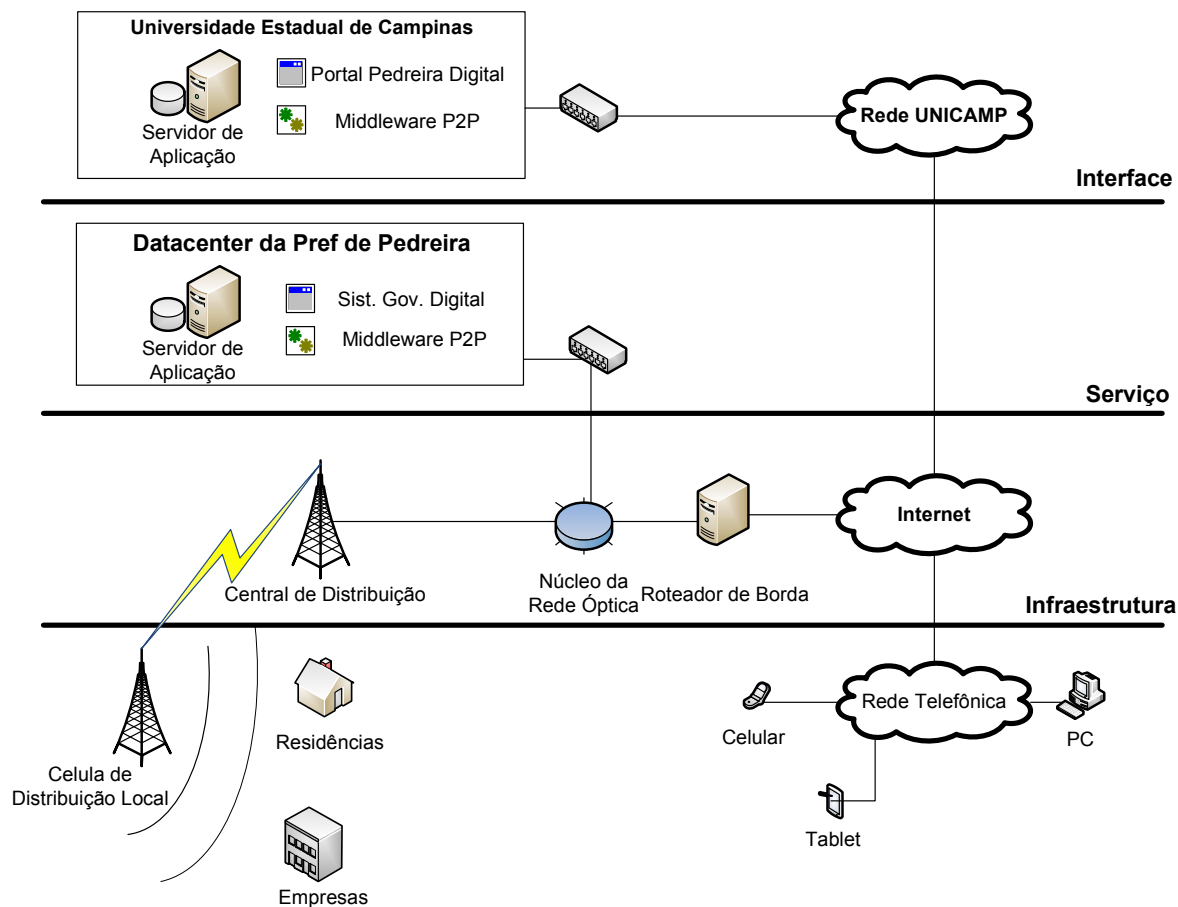


Fig 5-12: Arquitetura Física do Protótipo

## 5.7 Análise do Protótipo

A execução das pesquisas, a observação e a análise das arquiteturas citadas e, principalmente, a associação das idéias apresentadas à tecnologia disponível indicam que o desenvolvimento proposto para cidades digitais representa um avanço significativo na área, visto que os serviços das cidades digitais serão oferecidos tanto através do portal da cidade digital de Pedreira (camada de interface) aos cidadãos, quanto através dos próprios sistemas e serviços distribuídos (camada de serviço) nas relações diretas entre empresas, comércio e governo. Desta forma, a arquitetura proposta para cidades digitais simplifica a localização dos serviços e estabelece a interoperabilidade dos múltiplos sistemas distribuídos.

É fundamental ter em mente que as características específicas das cidades digitais, como informações do comércio, segurança, saúde, educação, trabalho, lazer, transporte e outros, serão oportunamente incorporadas à estrutura do protótipo. Numa fase posterior, o *middleware* (camada de interoperabilidade), após mediar às transações entre o portal digital (camada de interface) e os sistemas de governança municipal (camada de serviços), poderá transportar informações entre programas de diferentes protocolos de comunicação e plataformas. A incorporação dessas características ao protótipo busca oferecer uma melhor interoperabilidade entre os serviços oferecidos nas cidades digitais, o que terá por consequência a maximização de oportunidades de troca e reuso de informações.

Outro fato também observado é que, ao utilizar a arquitetura proposta, as cidades digitais poderão funcionar como uma representação do ambiente urbano real no mundo virtual, criando novas oportunidades para o desenvolvimento humano, social e econômico de uma sociedade. Ao abrir novos mercados consumidores, elaborar políticas e criar mecanismos para incluir digitalmente determinados grupos de indivíduos, que por motivos diversos ficaram fora desse processo, a cidade digital cria uma oportunidade única de reparar dívidas sociais e gerar avanços significativos para toda a sociedade [61].

Para colocar essas idéias em prática, é necessário haver um esforço concentrado na área de tecnologia da informação e comunicação, onde se incluem trabalhos de pesquisa sobre os temas Interoperabilidade, Sistemas Distribuídos e Portais Semânticos [62] [63].

Dessa forma, esse documento serve como orientação técnica sobre a evolução das arquiteturas de interoperabilidade para sistemas distribuídos das cidades digitais e fornece sugestões e subsídios para o desenvolvimento de outros trabalhos relacionados ao tema.

Como era de se esperar, a arquitetura proposta possui vantagens e desvantagens as quais podem ser utilizadas em uma avaliação preliminar. Serão comentadas a seguir as principais características observadas.

### **5.7.1 Vantagens da Arquitetura**

Como principal vantagem da arquitetura proposta, podemos destacar as características de interoperabilidade inerentes às cidades digitais, como, por exemplo, a replicação dos serviços

públicos e privados, oferta de conteúdo, interconexão dos sistemas distribuídos e interfaces gráficas amigáveis.

As interações através da camada de interoperabilidade (*middleware*) eliminarão as dificuldades de comunicação, permitindo que o emissor e o receptor estejam em plataformas diferentes e realizem a interação em tempo real.

Os cidadãos terão à sua disposição os dados de suas interações, uma vez que haverá integração de todos dados através do banco de dados, onde quer que ele esteja centralizado.

Como fora citado anteriormente, haverá uma modificação nos relacionamentos comerciais e não comerciais, tornando-os mais tecnicamente qualificados.

A arquitetura proposta acabará por incentivar uma discussão técnica sobre critérios e parâmetros, necessários para se alcançar melhores resultados no desenvolvimento de produtos e ambientes digitais, visto que uma variedade de serviços e aplicações deverá ser desenvolvida, encapsulando questões complexas com a utilização do *middleware* para o compartilhamento das informações. A abstração de alto nível oferecido pelo *middleware* deverá facilitar o desenvolvimento de produtos, fornecendo suporte a interação remota, gerenciamento de contexto e adaptação de aplicações.

### **5.7.2 Desvantagens da Arquitetura**

Em contrapartida, existem algumas desvantagens na arquitetura proposta, entre as quais podemos destacar a dificuldade na adaptação dos sistemas distribuídos para atender aos requisitos da arquitetura proposta. A adaptação tecnológica se refere aos ajustes e mudanças que precisam ser executadas para incorporar as bibliotecas do *middleware* aos sistemas distribuídos. O processo de adaptação dos sistemas distribuídos é dividido em três níveis: configuração ou customização, extensão e modificação. A configuração trata de preencher as tabelas do sistema sem alterar o código fonte. A extensão visa o desenvolvimento de aplicativos em linguagem específica, que serão ligados aos sistemas. A modificação altera o código fonte ou núcleo do produto [64].

Em função das modernizações e da troca de tecnologias, é necessário treinar mão-de-obra para a utilização da arquitetura desenvolvida. Nesse contexto, há uma preocupação com o aprendizado

do funcionamento correto das cidades digitais e portais web. Esse treinamento implica tempo e investimentos financeiros.

Outros tipos de custos que podem inviabilizar a troca de sistemas são: o custo de infraestrutura, customização e implantação do portal web.

Um fator que deve ser levado em consideração é a resistência natural dos cidadãos em utilizar um portal web. Para vencer essa resistência, é aconselhável um trabalho de divulgação e adaptação.

## Capítulo 6

### Conclusão

Nesta tese, propomos uma nova visão sobre as arquiteturas de cidades digitais. Durante a análise das principais arquiteturas existentes e das tecnologias disponíveis, constatamos a necessidade de aprimorar as soluções adotadas, ao mesmo tempo em que apresentamos as tendências no desenvolvimento de arquiteturas para cidades digitais. Adicionalmente, o trabalho possibilitou algumas reflexões metodológicas, pelo uso de pesquisa qualitativa, que merece ser destacada como forma de contribuir para as discussões na área de engenharia de computação. Além do material organizado sobre Cidades Digitais e Arquiteturas de Cidades Digitais, condensado na revisão bibliográfica, a pesquisa apresenta ainda, pontos para reflexão e análises futuras, como a questão da cultura organizacional e o aprofundamento do usuário nos modelos organizacionais de Cidades Digitais.

#### 6.1 Aspectos sobre a Arquitetura Proposta

Ao abordar as contribuições da arquitetura proposta de cidades digitais baseadas em um *middleware* P2P não podem ser desvinculadas as contribuições enumeradas pela pesquisa no Capítulo 1, resultando na proposta de uma arquitetura para cidades digitais que contribui para escalabilidade e interoperabilidade dos serviços prestados no município.

##### 6.1.1 Contribuições da Arquitetura Proposta

Com relação à arquitetura proposta de cidades digitais, quatro aspectos foram preponderantes no seu desenvolvimento: organizacional, negócios, sistemas de informação e tecnológico.

No aspecto organizacional, a arquitetura proposta procurou se tornar referência para todos os tipos de cidades digitais: comerciais, governamentais, virtuais e multiuso. Com a arquitetura proposta, mantém-se o foco na atividade principal do município, integrando processos o que permite um maior controle sobre as transações comerciais, aumentando a competitividade das empresas locais através da integração de atividades e disponibilizando em tempo real as informações e os serviços locais. Além disso, ocorre a padronização de processos e procedimentos das relações comerciais e governamentais.

Já no aspecto de negócios, a arquitetura proposta permitiu a criação de uma infraestrutura de comunicação sobre a qual é possível a construção de soluções colaborativas através de interfaces gráficas amigáveis.

Quanto ao aspecto de sistemas de informação e tecnologias, a arquitetura proposta é baseada no modelo P2P e segue um paradigma cujo princípio fundamental determina que as funcionalidades dos sistemas distribuídos sejam disponibilizadas na forma de serviços. Os serviços da cidade digital (camada de serviços) são oferecidos tanto através de um portal web (camada de interface), quanto através da localização e comunicação direta pelo *middleware* P2P (camada de interoperabilidade). Assim, podemos afirmar que atingimos o principal objetivo da arquitetura, já que a adoção da tecnologia P2P permitiu a interoperabilidade entre os múltiplos sistemas distribuídos da cidade digital.

### **6.1.2 Restrições sobre a Arquitetura Proposta**

As restrições sobre a arquitetura proposta envolvem dois aspectos: cultural e tecnológico. No aspecto cultural, faz-se necessário um trabalho interdisciplinar com áreas de marketing e negócios, a fim de minimizar a resistência natural dos usuários.

Quanto ao aspecto tecnológico, a arquitetura proposta traz uma maior preocupação sobre a disponibilidade dos sistemas (se um serviço digital não estiver operando, pode inviabilizar a utilização de outros serviços). Além disso, há a preocupação com a adequação dos sistemas já existente nos padrões tecnológicos propostos pela arquitetura.

## 6.2 Contribuições da Pesquisa

Este estudo permitiu o desenvolvimento de uma arquitetura para cidades digitais, baseada na análise de diferentes cidades digitais existentes. Observando diversas arquiteturas e propostas, foi definido um conjunto de características mínimas necessárias para elaboração de uma arquitetura para cidades digitais abrangente, modular e flexível. A arquitetura resultante, construída pelas camadas de infraestrutura, interoperabilidade, interface e serviços, forma um ambiente computacional integrado que possibilita a interoperabilidade dos serviços que compõem as cidades digitais, através de redes de comunicação digital.

Buscando validar a arquitetura de cidades digitais proposta, desenvolvemos um estudo de caso para cidade de Pedreira. Baseados nas decisões sugeridas por essa arquitetura foram alcançadas várias vantagens, tais como: localização de serviços de forma transparente através da rede, interação entre serviços ou aplicativos, independência de plataforma e disponibilidade. Também apontou algumas desvantagens e eventuais problemas que interferiram no desenvolvimento, tais como: dificuldade na customização dos sistemas distribuídos para atender aos requisitos da arquitetura proposta, custo de infraestrutura, customização e implantação do portal web.

É preciso também destacar que a arquitetura desenvolvida incentiva uma nova e ampla discussão técnica sobre critérios, parâmetros e até análises que devem ser incrementadas nas cidades digitais, assim como a maneira de introduzi-las através de sistemas de interoperabilidade, para que, conseqüentemente, os usuários alcancem melhores desempenhos quanto as pesquisas e troca de dados entre os serviços.

## 6.3 Pesquisas Futuras

Como esperado, a pesquisa apresentada nesta tese não esgota o assunto de cidades digitais. Ao contrário, o trabalho oferece várias alternativas para o desenvolvimento de outras pesquisas que dão continuidade a esse tema, dentre as quais podem ser destacadas:

- Desenvolvimento e melhoria de sistemas de interoperabilidade;

- Bases de conhecimento específico;
- Melhoria de interfaces gráficas;
- Integração de sistemas distribuídos de cidades digitais;
- Políticas e estratégias de desenvolvimento regional através do uso da tecnologia.



## Apêndice I - Padrão do Catálogo

O padrão ISO/IEC 11179-5 estabelece as regras de atribuição de nomes para dados, tipos de dados e itens de dados.

### *Conversão de Nomes*

Um nome completo será associado a cada padrão de dado seguindo o formato descrito abaixo:

```

<tipo-dados> ::= <objeto> [-<propriedade>] -TipoDado
<item-dados> ::= <objeto> - <propriedade> - <designador>
<objeto> ::= <nome-objeto> [ _ {<qualificador>} <qualificador> ]
<propriedade> ::= <nome-propriedade> [ _ {<qualificador>} <qualificador> ]
<designador> ::= <nome-designador> [ _ {<qualificador>} <qualificador> ]
<nome-objeto> ::= <termo>
<nome-propriedade> ::= <termo>
<nome-designador> ::= <termo>
<qualificador> ::= <termo>
<termo> ::= <palavra> {<palavra>} | <acronimo> | <abreviatura>
<palavra> ::= <maiusculo> <min_ou_num> {<min_ou_num>}
<acronimo> ::= <maiusculo> <maiusculo> {<maiusculo>}
<abreviatura> ::= <maiusculo> <maiusculo> {<maiusculo>}
<maiusculo> ::= A|B|C|...|Z
<min_ou_num> ::= <minusculo> | <numero>
<minusculo> ::= a|b|c|...|z
<numero> ::= 0|1|2|3|4|5|6|7|8|9

```

Para convenção de nomes foi utilizado a notação *Extended Backus-Naur Form* (EBNF), onde:

- **Objeto** é uma palavra-chave que descreve o principal objeto/entidade/conceito ao qual o item de dado está relacionado. Ex.: Cidadão, Cliente, Fornecedor;

- **Propriedade** é uma característica comum para todos os membros de uma classe de objetos, tais como Compra, Venda, Solicitação;
- **Designador** é uma palavra chave que designa a classe ou categoria à qual pertence o item de dado. Ex.: Cidadão-Compra-Codigo;
- **Qualificador(es)** é uma ou mais palavras qualificadoras usadas para descrever o objeto, propriedade ou designador de maneira unívoca. Cada palavra usada deve ser significativa por si própria para o padrão sendo descrito. Estas palavras são organizadas, da esquerda para a direita, em ordem decrescente de importância (quanto mais à esquerda, mais importante). Ex.: Cidadão-Compra\_Atual-Codigo.

A precedência do objeto no nome dos itens de dados permitirá a sua ordenação alfabética, facilitando o agrupamento.

### **Designadores padrão**

Designadores padrão são usualmente tipos de dados, os seguintes designadores padrões foram definidos para as cidades digitais:

- **Ano**: atribuída a dados de natureza numérica que expressam o ano no calendário civil;
- **Codigo**: identificador alfanumérico unívoco de um objeto;
- **Data**: atribuída aos dados de natureza numérica que expressam o dia, mês e ano no calendário civil;
- **DataHora**: atribuída aos dados de natureza numérica que expressam o dia, mês, ano, hora, minuto e segundo;

- **Descricao:** atribuída aos dados cujo conteúdo livre e em forma discursiva, se utiliza para descrever um objeto;
- **Dia:** atribuída a dados de natureza numérica que expressam o dia no calendário civil;
- **Hora:** atribuída aos dados de natureza numérica que expressam hora, minuto e segundo;
- **Indicador:** dados com um valor booleano;
- **Indice:** dado numérico, relativo, para comparação de diversos fenômenos e situações;
- **Mes:** atribuída a dados de natureza numérica que expressam o mês no calendário civil;
- **Nome:** atribuída aos dados de natureza alfabética ou alfanumérica cujo conteúdo expressa uma denominação por extenso;
- **Numero:** atribuída aos dados de natureza numérica cuja identificação se faz por valores absolutos;
- **Quantidade:** atribuída aos dados de natureza numérica que determinam um conjunto de coisas e/ou pessoas consideradas como equivalentes e suscetíveis de aumento e/ou diminuição. Conceitualmente, uma quantidade é associada a uma unidade de medida;
- **Sigla:** atribuída aos dados de natureza alfabética ou alfanumérica que expressam a forma reduzida de uma denominação;
- **Texto:** dado alfanumérico em formato livre que não é um nome nem uma descrição;
- **Tipo:** um dado que categoriza um objeto;

- **Valor:** atribuída a dados de natureza numérica que expressam uma importância monetária.

## Referências Bibliográficas

- [1] Mendes, L.S.; Bottoli, M.L.; Breda, G.D.; (2009). "Digital cities and open MANs: A new communications paradigm," *Communications, 2009. LATINCOM '09. IEEE Latin-American Conference on*, vol., no., pp.1-8.
- [2] Komninos, N.; (2006). "The architecture of intelligent cities: Integrating human, collective and artificial intelligence to enhance knowledge and innovation," *Intelligent Environments, 2006. IE 06. 2nd IET International Conference on* , vol.1, no., pp.13-20.
- [3] Lemos, A. (2006). O que é Cidade Digital?, *Guia das Cidades Digitais in* <http://www.guiadascidadesdigitais.com.br/site/pagina/o-que-cidade-digital>.
- [4] Silva, M. T. C. (2002). A (Ciber)Geografia das cidades digitais, Rio de Janeiro, Niterói, UFF, Tese de Mestrado.
- [5] Zancheti, S. M. (2000). *Cidades Digitais e o desenvolvimento local*, RECITEC, Recife, vol.5, no. 2, pp. 311-329.
- [6] Graham, S. (1996). Rumo a Cidade em tempo real – *Da cidade de pedra à cidade virtual: contribuição para o debate de nosso futuro habitat*. São Paulo: Agencia Estado.
- [7] Wang, C.; Li, B.; (2003). Peer-to-Peer Overlay Networks: A Survey. Technical Report, Dept. of Computer Science, HKUST.
- [8] Lv, Q.; Cao, P.; Cohen, E.; Li, K.; Shenker, S.; (2002). "Search and replication in unstructured peer-to-peer networks". *Proceedings of 16th ACM International Conference on Supercomputing (ICS'02)*, ACM, New York, NY, USA, vol., no., pp.84-95.
- [9] Napster - <http://www.napster.com/>. Acessado em Abril, 2010.
- [10] Gnutella - <http://www.gnutellaforums.com/>. Acessado em Abril, 2010.
- [11] Clarke, I.; Miller, S.G.; Hong, T.W.; Sandberg, O.; Wiley, B.; (2002) "Protecting free expression online with Freenet", *Internet Computing, IEEE* , vol.6, no.1, pp.40-49.
- [12] B.Y.Zhao; J.Kubiatowicz; A.Joseph; (2001). "Tapestry: An infrastructure for fault-tolerant wide-area location and routing". Comput. Sci. Div., Univ. California, Berkeley, Tech. Rep. UCB/CSD-01-1141.
- [13] A.Rowstron; P.Druschel; (2001). "Pastry: Scalable, decentralized object location and routing for large-scale peer-to-peer systems", in *Proceedings of the 18th IFIP/ACM International Conference on Distributed Systems Platforms (Middleware 2001)*, vol., no., pp.329-350.

- [14] Stoica, I.; Morris, R.; Liben-Nowell, D.; Karger, D.R.; Kaashoek, M.F.; Dabek, F.; Balakrishnan, H.; (2003). "Chord: a scalable peer-to-peer lookup protocol for Internet applications", *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, vol.11, no. 1, pp. 17- 32.
- [15] Ratnasamy, S.; Francis, P.; Handley, M.; Karp, R.; Shenker, S.; (2001). "A scalable content addressable network", *SIGCOMM Comput. Commun. on*, vol. 31, no. 4, pp. 161-172.
- [16] Fiat, A.; Saia, J.; (2002). "Censorship resistant peer-to-peer content addressable networks", *Proceedings of the thirteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms (SODA '02)*. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, PA, USA, pp 94-103.
- [17] Saia, J.; Fiat, A.; Gribble, S.; Karlin, A. R.; Saroiu, S.; (2002). "Dynamically fault-tolerant content addressable networks". *Proceedings of the 1st International Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS '02)*, *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, vol. 2429, no., pp 270–279.
- [18] Datar, M.; (2002). "Butterflies and peer-to-peer networks". *Proceedings of the 10th European Symposium on Algorithms (ESA)*, *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, vol. 2461, no., pp. 310–322.
- [19] Plaxton, C. G.; Rajaraman, R.; Richa, A. W.; (1997). "Accessing nearby copies of replicated objects in a distributed environment". *Proceedings of the ninth annual ACM symposium on Parallel algorithms and architectures (SPAA '97)*. ACM, New York, NY, USA, vol., no., pp. 311-320.
- [20] SUN Microsystems (2001). *JXTA v1.0 Protocols Specification*. <http://spec.jxta.org/v1.0/docbook/JXTAProtocols.html>.
- [21] Hibbard, J. (2000). Can peer-to-peer grow up?, in *Red Herring* - <http://www.redherring.com>. Acessado em novembro de 2010.
- [22] Silver, J. (2010). The trust economy: A world of P2P money-lending, in *Wired* - <http://www.wired.co.uk>. Acessado em novembro de 2010.
- [23] Brooker, K., Quattrone, F. (2000). Now It's 'P2P', in *Fortune* - <http://money.cnn.com/magazines/fortune/>. Acessado em novembro de 2010.
- [24] Théodoloz, N.; (2004). DHT-bases Routing and Discovery in JXTA, *Master Thesis - School of computer and Communication Sciences – Computer Science Departement – École Polytechnique Fédérale de Lausanne*, Lausanne - Suíça.
- [25] Site oficial da Plataforma JXTA - <http://www.jxta.org/>. Acessado em junho de 2010.

- [26] Antoniu, G.; Cudennec, L.; Jan, M.; Duigou, M.; (2007). "Performance scalability of the JXTA P2P framework," *Parallel and Distributed Processing Symposium, 2007. IPDPS 2007. IEEE International*, vol., no., pp.1-10, 26-30.
- [27] Ishida, T.; (1998). "Community computing and support systems: social Interaction in Networked Communities". *Lecture Notes in Computer Science*. Springer-Verlag, vol. 1519, no., pp..
- [28] Tanabe, M.; van den Besselaar, P.; Ishida, T.; (2002). "Digital Cities 2: Computational and Sociological Approaches". *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, vol. 2362, no., pp..
- [29] Kryssanov, V. V.; Okabe, M.; Kakusho, K.; Minob, M.; (2002). "Communication of social agents and the digital city: a semiotic perspective". *Digital Cities 2: Computational and Sociological Approaches, Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, vol. 2362, no., pp. 327- 336.
- [30] Yovanof, G. S.; Hazapis, G. N.; (2009). "An Architectural Framework and EnablingWireless Technologies for Digital Cities & Intelligent Urban Environments". *Springer Wireless Pers Commun Journal*, Springer Science+Business Media, vol., no., pp.445-463.
- [31] Ishida, T.; Aurigi, A.; Yasuoka, M.; (2005). "World Digital Cities: Beyond heterogeneity". *Digital Cities 3: Information technologies for social capital, Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, vol. 3081, no., pp. 271-314.
- [32] Glaeser, E. L.; Saiz, A.; (2004). "The Rise of the Skilled City". *Brookings-Wharton Papers*, Urban Affairs, vol. 5, no., pp. 47-94.
- [33] Kaufmann. A.; Todtling, F.; (2000). "Systems of Innovation in Traditional Industrial Regions: The Case of Styria in a Comparative Perspective". *Regional Studies*, Taylor and Francis Journals, vol. 34, no. 1, pp. 29-40.
- [34] Anthopoulos, L.; Fitsilis, P.; (2010). "From Digital to Ubiquitous Cities: Defining a Common Architecture for Urban Development," *Intelligent Environments (IE), 2010 Sixth International Conference*, vol., no., pp.301-306, 19-21.
- [35] Giachetti, R.; (2010). "Design of enterprise systems: theory, architecture, and methods". *CRC Press*, Taylor and Francis Group, LLC.

- [36] Rogers, E. M.; Takegami, S.; Yin, J.; (2001). “Lessons learned about technology transfer”. *Technovation*, Elsevier Science, vol. 21, no. 4, pp. 253–261.
- [37] Lee J.; Win H. N.; (2004). “Technology transfer between university research centers and industry in Singapore”. *Technovation*, Elsevier Science, vol. 24, no. 5, pp. 433-442.
- [38] Alves, J.; Marques, M. J.; Saur, I.; (2004). “O papel das redes de cooperação na promoção da inovação e na modernização de clusters: o caso do projecto: Casa do Futuro”. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, vol. 6, no., pp. 27-43.
- [39] Turban, E., McLean, E., and Wetherbe, J.; (2002). *Information Technology for Management: Transforming business in the digital economy*, J Wiley International Edition, vol. 3, no., pp..
- [40] Ishida, T.; Isbister, K.; (2000). “Understanding digital cities”. *Digital Cities: Technologies, Experiences, and Future Perspectives, Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, vol. 1765, no., pp..
- [41] Besselaar, P. V.; Beckers, D.; (1998). “Demographics and Sociographics of the Digital City”. *Community Computing and Support Systems, Social Interaction in Networked Communities, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1519, no., pp. 108-124.
- [42] Linturi, R.; Koivunen, M.; Sulkanen, J.; (2000). “Helsinki Arena 2000 – Augmenting a Real City to a Virtual One”. *Digital Cities: Experiences, Technologies and Future Perspectives, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1765, no., pp. 83-96.
- [43] Ishida, T.; Akahani, J.; Hiramatsu, K.; Isbister, K.; Lisowski, S.; Nakanishi, H.; Okamoto, M.; Miyazaki, Y.; Tsutsuguchi, K.; (1999). “Digital city kyoto: towards a social information infrastructure”. *Proceedings of the 3rd international conference on Cooperative information agents III (CIA'99)*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, vol., no., pp. 34-46.
- [44] Mitchell, W. J.; (2002). “From City of Bits: Space, Place and Infobahn”. *City Reader*, Oxford: Blackwell Publishing, vol., no., pp. 52-59.
- [45] Jepson, W.; Friedman, S.; (1998). “Virtual L. A., Urban Simulation in Los Angeles”. *Planning Magazine, the Journal of the American Planning Association*, vol., no., pp. 4-7
- [46] Ishida, T.; (1998). “*Community Computing: Collaboration over Global Information Networks*”. John Wiley & Sons.



- [47] Schuler, D.; (2002). "Digital cities and digital citizens". *Digital Cities II: Computational and Sociological Approaches, Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, vol. 2362, no., pp. 567-576.
- [48] Akyildiz, I. F.; Xudong Wang; (2005). "A survey on wireless mesh networks". *Communications Magazine, IEEE* , vol.43, no.9, pp. S23- S30.
- [49] Karrer, R. P.; Pescapé, A.; Thomas, H.; (2008). "Challenges in second-generation wireless mesh networks". *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*.
- [50] Curley, M.; (2007). "Enabling digital cities". Intel Innovation Center.
- [51] Munir, S. A.; Biao Ren; Weiwei Jiao; Bin Wang; Dongliang Xie; Man Ma; (2001). "Mobile Wireless Sensor Network: Architecture and Enabling Technologies for Ubiquitous Computing". *Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2007, AINAW '07. 21st International Conference* , vol. 2, no., pp.113-120.
- [52] Abdelzaher, T.; et al.; (2007). "Mobiscopes for human spaces— building a sensor rich world". *IEEE Pervasive Computing*, vol., no., pp. 20–29.
- [53] Rede Nacional de Ensino e Pesquisa - <http://www.rnp.br/noticias/2006/not-060926.html>. Acessado em junho de 2010.
- [54] Rivbst, R. (1992). "The MD5 message-digest algorithm". *IETF Network Working Group, RFC 1321*.
- [55] Linnolahti, J.; (2004). QoS routing for P2P networking. *HUT T-110.551 Seminar on Internetworking*.
- [56] Governo Brasileiro; (2007). "e-PING Padrões de Interoperabilidade de Governo Eletrônico". Comitê Executivo de Governo Eletrônico.
- [57] Fowler, M.; (2003). "Patterns of Enterprise Application Architecture". Boston, MA: Addison-Wesley, Inc.
- [58] Alur, D.; Crupi, J.; Malks, D.; (2001). "Core J2EE Patterns: Best Practices and Design Strategies". Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- [59] Bauer, C.; King, G.; (2004). "Hibernate in Action (In Action series)". Manning Publications Co., Greenwich, CT.
- [60] Zimbra and Joomla Project - <http://www.zimbra.com>. Acessado em junho de 2010.
- [61] Souto, A. A., Dall'Antonia, J. C., Holanda, G. M., (2006). "As cidades digitais no mapa do Brasil: uma rota pra a inclusão social". Ministério das Comunicações.

- [62] Coulouris, G.; Dollimore, J.; Kindberg, T.; (2007). “*Sistemas Distribuídos: Conceitos e Projeto*”. Editora Bookman.
- [63] Hebel, J.; Fisher, M.; Blace, R.; Perez-Lopez, A.; (2009). “*Semantic Web Programming*”. Wiley Publishing, Inc., USA.
- [64] Hong, K.; King, Y.; (2002). “The critical success factors for ERP implementation: an organizational fit perspective”. *Information & Management*, vol. 40, no. 1, pp. 25-40.