IRENE KARAGUILLA FICHEMAN

**ECOSSISTEMAS DIGITAIS DE APRENDIZAGEM:
AUTORIA, COLABORAÇÃO, IMERSÃO E MOBILIDADE**

São Paulo
2008

IRENE KARAGUILLA FICHEMAN

**ECOSSISTEMAS DIGITAIS DE APRENDIZAGEM:
AUTORIA, COLABORAÇÃO, IMERSÃO E MOBILIDADE**

Tese apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de
Doutor em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração:
Sistemas Eletrônicos

Orientadora:
Profa. Dra. Roseli de Deus Lopes

São Paulo
2008

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob a responsabilidade única da autora e com a anuência de sua orientadora.

São Paulo, 11 de novembro de 2008

Assinatura da autora

Assinatura da orientadora

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficheman, Irene Karaguilla

Ecossistemas digitais de aprendizagem : autoria, colaboração, imersão e mobilidade / I.K. Ficheman. – Ed. Revisada – São Paulo, 2008.

189 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos.

1.Análise de requisitos 2.Softwares (Modelagem computacional) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos II.t.

DEDICATÓRIA

Ao Durval, à Tatiana e à Gabrielle,
pela infinita paciência,
pela minha ausência,
pelo amor mútuo,
pelo carinho recebido.

AGRADECIMENTOS

Eliane e Edouard Karaguilla, meus pais, pelo orgulho que têm de mim.

Roseli de Deus Lopes, minha orientadora e amiga, pela orientação, pelo estímulo e por acreditar nas minhas idéias.

Marcelo Zuffo, meu professor, pelo eterno incentivo.

Profa Fanly Fungyi Chow Ho, pela orientação de conceitos biológicos, e Elisabeth Dudziak, pela revisão de padrão documentário.

Gilda Assis e Ana Grasielle Corrêa, minhas colegas de doutorado, pelas discussões inspiradoras.

Elena Saggio, Johny Ho, Leandro Biazon, Alexandre Martinazzo, Joyce Saul, Nathália Sautchuk, Jorge Franco, Valkiria Venâncio, Cassia Salmomão, Juliana Suzuki, Ramona Straube, Alexandra Camargo, Maria Alice Gonçalves, Maria Luiza Marques, Valmir Cardoso, Pedro Paulo Salles, Elisabeth Camargo, Fábio Durand, meus colegas, pelo apoio e colaboração.

Rogério Latterza – por ter me permitido começar o doutorado coordenando um primeiro projeto de pesquisa FAPESP: o Kit Oficina de Projetos.

Dr. Hélio Plapler – por ter me permitido terminar o doutorado coordenando outro projeto de pesquisa FAPESP: a Corrida Virtual Interativa.

Equipe da Escola Municipal Ernani Silva Bruno: diretores Francisco e Geralda, coordenadoras pedagógicas Márcia e Edna, professores e alunos, pelo aprendizado conjunto.

Equipe do Parque CienTec: Profa Marta, Profa Raquel, Paulo, Fabrício, Vera, Nena, Luciane e todos os monitores, pelo crescimento no trabalho multidisciplinar.

Maria Ângela, minha revisora de texto, por compreender meu anglicismo e meu francesismo.

Agradeço também a todos os amigos e familiares que direta ou indiretamente me incentivaram, me apoiaram e me ajudaram a dar este passo para frente.

RESUMO

A rápida evolução e a ampla disseminação de tecnologias digitais estão mudando o contexto e o perfil dos aprendizes que hoje circulam naturalmente entre espaços físicos, espaços virtuais e espaços sociais diferentes, aprendendo em contextos formais e informais. Paradigmas educacionais atuais defendem a aprendizagem centrada no aprendiz que constrói seu conhecimento ao criar e desenvolver projetos, ao interagir com os objetos de estudo, com seus pares, com seus professores e mentores. A análise de requisitos – etapa fundamental do desenvolvimento de uma ferramenta digital - concentra-se essencialmente em aspectos computacionais a partir da identificação de fluxos de entrada e saída e dos processos que a ferramenta deverá executar. Entretanto, a análise de requisitos é difícil de ser conduzida quando os conteúdos e inter-relações são complexos e dinâmicos. Recentemente, a abordagem de ecossistemas tem sido usada para entender ou modelar fenômenos que surgem da tecnologia e de seu uso. Propomos utilizar esta abordagem para conceber novas ferramentas digitais de aprendizagem ao analisar seus requisitos, ou para analisar ferramentas existentes. Assim, propomos neste trabalho uma definição e um modelo de Ecossistema Digital de Aprendizagem, que podem ser aplicados tanto na concepção de novas ferramentas educacionais quanto na análise para melhoria de ferramentas existentes. Um conjunto de artefatos, resultantes do detalhamento do modelo, é apresentado a fim de auxiliar na utilização do mesmo. A avaliação da aplicabilidade do modelo foi realizada por meio de sua utilização em estudos de caso de ferramentas educacionais desenvolvidas anteriormente. A aplicação do modelo evidenciou aspectos que não foram contemplados com abordagens tradicionais e permitiu levantar possíveis modificações e ampliações que podem levar a um estágio mais maduro do ecossistema. Os resultados obtidos com a aplicação do modelo na análise de ferramentas existentes apontam caminhos promissores para que esta estratégia seja usada na concepção de novas ferramentas educacionais de aprendizagem.

PALAVRAS CHAVE: Análise de Requisitos. Modelagem. Ecossistemas Digitais. Ferramentas Digitais de Aprendizagem. Meios Eletrônicos Interativos.

ABSTRACT

The rapid evolution and dissemination of digital technology are changing the learner's context and profile. Learners move naturally between different physical spaces, different virtual spaces and different social spaces, engaging in learning activities in formal and informal contexts. Educational paradigms defend a learner centered approach, where learners construct their knowledge creating and developing projects, interacting with learning objects, with their peers, their teachers and mentors. Requirements analysis is a fundamental phase in the development of digital tools and concentrates essentially on computational aspects consisting on the identification of the tool's input and output flows as well as processing. Nevertheless, requirements analysis is difficult to conduct when contents and relations are complex and dynamic. Recently, the ecosystem approach has been used to understand and to model phenomena that appear from the technology and its use. We propose to use this approach to conceive new digital learning tools, analyzing its requirements, or to use this approach to analyze existing tools. Therefore we propose in this research a Digital Learning Ecosystem definition and model that can be applied to the conception of new educational tools, as well as to analyze and improve existing tools. The detailed model includes a set of artifacts that can support its application. The model applicability evaluation was achieved by applying it on previously developed study cases. The model application showed some aspects that were not considered with traditional approaches and raised possible modifications and extensions that can lead to a mature stage of the ecosystem. The model application analysis of existing tools showed promising results and indicate that this approach can be used to conceive new educational learning tools.

KEYWORDS: Requirements Analysis. Modeling. Digital Ecosystems. Digital Learning Tools. Interactive Electronic Media.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	
AGRADECIMENTOS	
RESUMO.....	
ABSTRACT	
SUMÁRIO.....	
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE ABREVIATURAS.....	
1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 OBJETIVO	17
1.2 MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA	18
1.3 ESTRUTURA DO TEXTO.....	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 ANÁLISE DE REQUISITOS.....	21
2.2 O NOVO APRENDIZ	25
2.3 PARADIGMAS EDUCACIONAIS.....	31
2.4 APRENDIZAGEM APOIADA POR TECNOLOGIA	33
2.5 A IMPORTÂNCIA DA AUTORIA.....	37
2.6 APRENDIZAGEM COLABORATIVA APOIADA POR COMPUTADOR	39
2.7 OS MEIOS ELETRÔNICOS INTERATIVOS E A IMERSÃO.....	41
2.8 A ERA DA MOBILIDADE	46
2.9 O USO DE MODELOS	50
2.10 CONCLUSÃO	53
3 ECOSSISTEMAS	54
3.1 ECOLOGIA	54
3.2 ECOSSISTEMAS BIOLÓGICOS	55
3.2.1 Níveis de Organização.....	59
3.2.2 Populações	60
3.2.3 Comunidades.....	60
3.2.4 Espécies	61

3.2.5	Habitat	61
3.2.6	Espécies exóticas	62
3.2.7	Interações em um ecossistema	63
3.2.8	Escalas espaciais e temporais.....	64
3.2.9	Seleção natural e evolução.....	65
3.2.10	Sucessão ecológica e estágios de maturidade	65
3.2.11	Propriedades emergentes	69
3.2.12	Uso de modelos e simulação	71
3.2.13	O ecossistema como conceito multidimensional	75
3.3	ECOLOGIAS DIGITAIS	77
3.4	ECOSSISTEMAS DIGITAIS	79
3.5	ECOSSISTEMAS DIGITAIS DE APRENDIZAGEM.....	84
3.6	CONCLUSÃO	93
4	PROPOSTA DE ECOSSISTEMA DIGITAL DE APRENDIZAGEM.....	95
4.1	DEFINIÇÃO	96
4.1.1	Fatores bióticos.....	97
4.1.2	Fatores abióticos.....	98
4.1.3	Interações	98
4.1.4	Relações de dependência	99
4.1.5	Estrutura aninhada hierárquica	99
4.1.6	Herança e polimorfismo	101
4.2	COMPARAÇÃO COM OUTRAS DEFINIÇÕES	101
4.3	MODELO GAIA.....	102
4.3.1	Fatores bióticos.....	103
4.3.2	Fatores abióticos.....	106
4.3.3	Habitat e nicho ecológico.....	107
4.3.4	Interações	108
4.3.5	Escalas espaciais e temporais.....	113
4.3.6	Condições de contorno	114
4.3.7	Relações de dependência	115
4.4	REQUISITOS.....	116
4.5	FUNÇÕES META E ESTÁGIOS DE MATURIDADE	119
4.5.1	Autoria	120
4.5.2	Colaboração.....	122

4.5.3	Imersão	123
4.5.4	Mobilidade	124
4.6	COMPARAÇÃO COM OUTROS MODELOS.....	129
4.7	CONCLUSÃO	131
5	ESTUDOS DE CASO	133
5.1	WIKIPEDIA E ORKUT	133
5.2	NAVE MÁRIO SCHENBERG.....	136
5.2.1	Fatores bióticos.....	139
5.2.2	Fatores abióticos.....	140
5.2.3	Habitat	141
5.2.4	Ecossistema.....	141
5.2.5	Fronteiras e influências.....	142
5.2.6	Funções meta	143
5.2.7	Análise do ecossistema	146
5.2.8	Condições de contorno	148
5.2.9	O ecossistema e o novo aprendiz.....	148
5.2.10	Ampliação do ecossistema.....	149
5.3	EDUMUSICAL	150
5.3.1	Fatores bióticos.....	152
5.3.2	Fatores abióticos.....	154
5.3.3	Ecossistema.....	155
5.3.4	Fronteiras e influências.....	156
5.3.5	Funções meta	157
5.3.6	Análise do ecossistema	160
5.3.7	Condições de contorno	162
5.3.8	O ecossistema e o novo aprendiz.....	165
5.3.9	Ampliação do ecossistema	165
5.4	CONCLUSÃO	166
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	167
6.1	PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES.....	167
6.2	TRABALHOS FUTUROS	169
6.3	CONCLUSÃO	170
	REFERÊNCIAS.....	172
	GLOSSÁRIO DE TERMOS INGLÊS-PORTUGUÊS	188

GLOSSÁRIO DE TERMOS GREGO-PORTUGUÊS.....	189
--	-----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Proporção de domicílios com equipamentos de TIC (%) (CETIC, 2008) ..	28
Figura 2 - Proporção de Domicílios com Acesso à Internet (%) (CETIC, 2008)	29
Figura 3 - Proporção de indivíduos que usaram um computador nos últimos 3 meses por faixa etária e renda familiar (%) (CETIC, 2008)	29
Figura 4 - Evolução da Sociedade segundo (RESNICK, 2006).....	37
Figura 5 - Contínuo entre Mundo Real e Mundo Virtual (MILGRAM et al., 1994)	42
Figura 6 - Classificação de tecnologias de hardware (NAISMITH et al., 2004).....	49
Figura 7 - Meios Eletrônicos Interativos e Realidade Virtual (ZUFFO, 2001)	51
Figura 8 - Modelo Espiral de Desenvolvimento Musical (SWANWICK; TILLMAN, 1986)	52
Figura 9 - Níveis de Organização (EDUCAR, 2008)	59
Figura 10 - Modelo da Dinâmica Populacional de <i>U. cordatus</i> no Manguezal da Baía de Vitória, ES (MULINARI et al., 2006)	74
Figura 11 - Componentes de Ecossistema de <i>e-Learning</i> (UDEN; DAMIANI, 2007)	88
Figura 12 - Ecossistema de Aprendizagem segundo Chang e Guetl (2007).....	92
Figura 13 - Exemplo de Hierarquia de Ecossistemas Digitais de Aprendizagem	100
Figura 14 - Fatores bióticos e suas interações.....	110
Figura 15 - Detalhamento da interação entre atores	111
Figura 16 - Fatores abióticos.....	112
Figura 17 - Modelo Gaia.....	113
Figura 18 - Relações de dependência no modelo Gaia	116
Figura 19 - Autoria em Ecossistemas Digitais de Aprendizagem	121
Figura 20 - Colaboração entre populações no modelo Gaia	122
Figura 21 - Imersão em Ecossistemas Digitais de Aprendizagem	123
Figura 22 - Ampliação da evolução da sociedade proposta por Resnick (2006).....	125
Figura 23 - Telões da Nave Mário Schenberg.....	137
Figura 24 - Estações Rota e Radar	138
Figura 25 - Interface Estações Energia e Radar	138
Figura 26 - Ecossistema Simulador Espacial Nave Mário Schenberg.....	142
Figura 27 - Colaboração no Ecossistema Simulador Espacial	144

Figura 28 - Imersão no Ecossistema Simulador Espacial	145
Figura 29 - Editor Musical - aplicação para composição individual e colaborativa ..	150
Figura 30 - Portal EduMusical, Página Inicial www.edumusical.org.br	151
Figura 31 - Jogo do Piano	151
Figura 32 - Ecossistema EduMusical	156
Figura 33 - Colaboração no Ecossistema EduMusical	158
Figura 34 - Crescimento Populacional EduMusical em 2004	163
Figura 35 - Crescimento Populacional EduMusical 2004-2005	163
Figura 36 - Acessos ao Jogo da Memória	164

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Como as diferentes gerações percebem a Web, a comunidade, a carreira e a autoridade.	26
Tabela 2 - Categorias de Interação Colaborativa	40
Tabela 3 - Atributos da sucessão ecológica: tendências esperadas no desenvolvimento de ecossistemas	67
Tabela 4 - Características de Ecossistemas Jovens e Maduros	68
Tabela 5 - Componentes Básicos do STELLA	73
Tabela 6 - Fatores Bióticos: Atores e Conteúdos	105
Tabela 7 - Fatores Abióticos: Tecnologias e Teorias Pedagógicas.....	107
Tabela 8 - Símbolos e seu significado nos diagramas do modelo Gaia	109
Tabela 9 - Formas de interação entre fatores bióticos	111
Tabela 10 - Formas de Interação entre Atores.....	112
Tabela 11 - Requisitos de aprendizes e professores	117
Tabela 12 - Funções meta e estágios de maturidade	119
Tabela 13 - Estudo da mobilidade em fatores bióticos.....	126
Tabela 14 - Estudo da Mobilidade em Fatores Abióticos	127
Tabela 15 - Classificação de acesso às tecnologias e sua relação com aprendizagem móvel.....	128
Tabela 16 - Mobilidade da Tecnologia de Rede	128
Tabela 17 - Fatores Bióticos do Ecossistema Simulador Espacial.....	139
Tabela 18 - Fatores Abióticos do Ecossistema Simulador Espacial.....	140
Tabela 19 - Colaboração no Ecossistema Simulador Espacial	144
Tabela 20 - Simulador Espacial - Classificação de Acesso às Tecnologias.....	146
Tabela 21 - Estágio de maturidade do Ecossistema Simulador Espacial.....	147
Tabela 22 - Fatores Bióticos do Ecossistema EduMusical	153
Tabela 23 - Fatores Abióticos do Ecossistema EduMusical	154
Tabela 24 - Colaboração no EduMusical	158
Tabela 25 - EduMusical - Classificação de Acesso às Tecnologias.....	160
Tabela 26 - Estágio de maturidade do Ecossistema EduMusical.....	161

LISTA DE ABREVIATURAS

AVA	Ambiente Virtual de Aprendizagem
CDS	<i>Content Delivery System</i>
CSCL	<i>Computer Supported Collaborative Learning</i>
CSCW	<i>Computer Supported Cooperative Working</i>
EaD	Educação a Distância
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
JVM	<i>Java Virtual Machine</i>
LMS	<i>Learning Management System</i>
LSI	Laboratório de Sistemas Integráveis
NATE	Núcleo de Aprendizagem, Trabalho e Entretenimento
P2P	<i>Peer to peer</i>
PC	<i>Personnal Computer</i>
PDA	<i>Personal Digital Assistant</i>
RA	Realidade Aumentada
RSS	<i>Really Simple Syndication</i>
RUP	<i>Rational Unified Process</i>
RV	Realidade Virtual
TIC	Tecnologias da Informação e da Comunicação
UML	<i>Unified Modeling Language</i>

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Governo Brasileiro se preocupou em atender as crianças em idade escolar e em garantir acesso à escola pública para todas. Recentemente, a qualidade da educação passou a ser a preocupação principal e o Governo decretou o “Plano de Metas Compromisso Todos pela Educação” (PRESIDÊNCIA, 2007) no qual se insere o Plano Nacional de Educação, que apresenta um diagnóstico dos problemas educacionais e enfatiza a questão das ações a serem tomadas para a melhoria da qualidade da educação (PNE, 2007). O problema migrou da preocupação em garantir acesso à educação básica a toda população jovem para o objetivo de oferecer uma Educação de qualidade para todos (LOPES, 2007).

Turmas de 35 a 45 crianças com níveis de aprendizagem e ritmos de desenvolvimento diferentes numa mesma sala fazem do trabalho do professor um grande desafio (ABREU, 2007). Os estudantes com o passar do tempo se desinteressam em aprender e a falta de motivação dos mesmos vem se somar às demais preocupações (TAPIA; FITA, 1999). Uma das razões é que o sistema educacional atual não foi atualizado para atender aos aprendizes de hoje.

Nas últimas décadas, a rápida evolução de tecnologias digitais tem permitido novas formas de interação e novas possibilidades de colaboração. A ampla disseminação e o crescente acesso às mesmas inseriu as mídias digitais no dia-a-dia das crianças e dos adolescentes. Os jovens aprendizes estão freqüentemente em contato com estas tecnologias em diversos ambientes (escola, casa, tele-centros, museus e outros), interagindo com plataformas diferentes, sejam elas fixas ou móveis. O perfil dos jovens aprendizes que nasceram e cresceram neste contexto mudou. A nova geração é fluente digital e está acostumada a executar tarefas simultâneas, a navegar por *hiperlinks* e a usar a tecnologia para se comunicar e se divertir (LÉVY, 1997; PRENSKY, 2003; OBLINGER, 2004).

Paradigmas educacionais centrados no aprendiz focam nas interações dos mesmos com os objetos de estudo, com seus pares e professores (PIAGET, 1972; VYGOTSKY, 1978; PAPERT, 1986; ACKERMANN, 2001; ALMEIDA, 2001).

A análise de requisitos é uma atividade central ao desenvolvimento de ferramentas digitais, pois consiste em buscar, junto aos usuários potenciais, suas necessidades e expectativas em relação à ferramenta em questão. Abordagens tradicionais de análise de requisitos se concentram nas entradas, processamento e saída de sistemas computacionais (JACOBSON et al., 1999). Estas podem ser utilizadas para desenvolver ferramentas de aprendizagem que entregam conteúdos aos aprendizes ou que os questionam sobre os conteúdos apresentados.

Entretanto, os conteúdos e as relações entre aprendizes e professores são atualmente complexos e dinâmicos, e a análise de requisitos tradicional não proporciona uma visão integrada dos aprendizes, dos professores, dos objetos de estudo, das interações ambientados num contexto de uso, bem como sua evolução ao longo do tempo. Já ecossistemas biológicos são sistemas complexos, que nascem e crescem e estão em constante evolução buscando um equilíbrio interno. Em ecossistemas há entradas e saídas, espécies formam comunidades espontâneas e interagem com o ambiente.

A abordagem de ecossistemas biológicos é utilizada como base para a proposta de Ecossistema Digital de Aprendizagem aqui apresentada.

1.1 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma definição e um modelo de Ecossistema Digital de Aprendizagem, que proporcionem uma visão integrada de usuários, de conteúdos e de suas interações no contexto de uso de uma ferramenta digital de aprendizagem à luz do estágio atual de desenvolvimento tecnológico. O modelo, denominado Gaia, traduz a definição em artefatos a fim de auxiliar a utilização do mesmo e pode servir:

- na fase de concepção durante a análise de requisitos de uma ferramenta,
- para analisar ferramentas digitais existentes e evidenciar como elas podem ser estendidas.

Este trabalho tem como objetivos específicos a identificação de características de ferramentas digitais de aprendizagem, a identificação do perfil do novo aprendiz e dos paradigmas educacionais atuais, a identificação das características de ecossistemas biológicos e de ecossistemas digitais, a apresentação de uma definição de Ecossistema Digital de Aprendizagem e de um modelo correspondente. Este trabalho objetiva também a aplicação do modelo em estudos de caso de algumas ferramentas educacionais desenvolvidas pela autora, juntamente com outros membros da equipe do Núcleo de Aprendizagem, Trabalho e Entretenimento (NATE) do Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).

1.2 MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA

A ampla disseminação e o crescente acesso às tecnologias digitais têm mudado o contexto e perfil do novo aprendiz, e têm provocado uma necessidade de mudanças no processo de ensino-aprendizagem e de adoção de paradigmas educacionais mais centrados no aprendiz. O processo de aprendizagem é um processo contínuo e a concepção de ferramentas digitais não pode isolar o aprendiz na sala de informática em uma situação específica de tempo e espaço. Com o crescente acesso a tecnologias digitais, o aprendiz se envolve em experiências de aprendizagem em diferentes espaços físicos, com uma ampla variedade de ferramentas, com pessoas diferentes e em tempos diferentes. A nova geração de aprendizes tem pensamento não linear, está acostumada à velocidade, à interatividade, a desempenhar diferentes tarefas simultaneamente, e aos *hiperlinks* do seu mundo da televisão, *videogames* e Internet (LÉVY, 1990; LÉVY, 1997; FAGUNDES et al., 2005; PRENSKY, 2001).

O Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE), por meio de um de seus comitês (LTSC, 2007) tem buscado apresentar um padrão de arquiteturas para tecnologias de sistemas de aprendizagem (LTSA, 2007). Este padrão especifica uma arquitetura de alto nível para aprendizagem apoiada por Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) e tem por objetivo facilitar o desenvolvimento de tais sistemas.

Os componentes destes sistemas incluem processos, armazenamento e fluxos. Esta arquitetura genérica provê as ferramentas tecnológicas para o desenvolvimento de tais sistemas, mas não considera aspectos sociais e didáticos do processo de aprendizagem apoiado por TIC. O foco do padrão é no conteúdo e na entrega do mesmo ao aprendiz (DERNTL; MOTSCHNIG-PITRIK, 2004), o que não é compatível com paradigmas educacionais centrados no aprendiz, pois estes não defendem a transmissão de informações do professor para o aluno. Ao contrário, cabe desenvolver aplicações e ambientes que apoiem a aprendizagem, nos quais comunidades de atores e conteúdos surgem e por meio dos quais a aprendizagem em si emerge.

Ecossistemas biológicos são sistemas complexos e dinâmicos, pois englobam componentes e suas interações. O modelo de ecossistema é um modelo aberto onde indivíduos de uma espécie entram e saem, se agrupam para constituir populações, interagem ao se congregarem para formar comunidades e onde o foco está nas interações entre espécies, intra-espécie e entre espécies e ambiente. A abordagem ecológica provê um *framework* poderoso para entender sistemas complexos e dinâmicos (ZHAO; FRANK, 2003). Esta abordagem holística é necessária para conceber ambientes que sustentem uma aprendizagem efetiva e pervasiva (CHANG; GUETL, 2007).

Há algumas formas de conduzir o processo de desenvolvimento de um sistema: o processo cascata, o processo espiral, o processo unificado e métodos ágeis (JACOBSON et al., 1999; BECK, 1999; MANIFESTO, 2001) são alguns exemplos de processos de desenvolvimento de *software*. Todos incluem a análise de requisitos, onde são avaliadas as necessidades dos usuários.

Propomos, neste trabalho, que a concepção de ferramentas digitais de aprendizagem se apoie em um modelo análogo ao biológico de ecossistemas, pois este proporciona uma visão integrada de professores e alunos interagindo entre si e com conteúdos, e permite representar sistemas complexos e dinâmicos.

No que tange a aspectos técnicos, este trabalho apoia-se em pesquisas nas áreas de ecossistemas digitais, ferramentas digitais de aprendizagem, sistemas de autoria, aprendizagem colaborativa, imersão e mobilidade.

Este trabalho propõe uma abstração para a concepção de ferramentas digitais de aprendizagem que considera os diversos elementos envolvidos no processo (aprendizes, professores e conteúdos) como seres vivos participantes de um mesmo ecossistema. Este trabalho propõe uma definição e um modelo de Ecossistema Digital de Aprendizagem para apoiar a análise de requisitos de novas ferramentas digitais ou a análise de ferramentas existentes a fim de evidenciar suas características e suas possíveis adequações e ampliações.

1.3 ESTRUTURA DO TEXTO

O texto encontra-se organizado em 6 capítulos. O capítulo inicial apresenta o contexto, os objetivos e a relevância da pesquisa relatada neste trabalho. O segundo capítulo discute alguns aspectos relacionados a temas correlatos que serviram de base teórica para a pesquisa: perfil do novo aprendiz, paradigmas educacionais, aprendizagem apoiada por meios eletrônicos interativos e importância de modelos. O terceiro capítulo relata o conceito de ecossistemas biológicos e como esta abordagem tem sido transportada para ecossistemas digitais e ecossistemas digitais de aprendizagem. O capítulo quatro apresenta a proposta de definição de Ecossistema Digital de Aprendizagem, e o detalhamento do modelo Gaia concebido a partir desta definição, bem como descreve suas características. O capítulo cinco descreve dois estudos de caso onde o modelo Gaia aplicado a ferramentas educacionais existentes evidenciou suas características, seu estágio de maturidade e suas possíveis adequações e ampliações. O sexto e último capítulo apresenta as conclusões e perspectivas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O tema desta tese abrange diversos aspectos, sendo apropriado descrever os conceitos básicos de cada um a fim de estabelecer a ligação entre os mesmos e permitir a fundamentação necessária. Este capítulo apresenta inicialmente uma breve definição da análise de requisitos e descreve alguns relatos encontrados na literatura sobre análise de requisitos de ferramentas educacionais. O capítulo passa então a descrever o perfil do novo aprendiz, que ajudará a traçar as necessidades do mesmo e paradigmas educacionais atuais que apontam aspectos pedagógicos das necessidades dos professores. Em seguida é apresentada uma caracterização da aprendizagem apoiada por mídias digitais quanto aos aspectos de autoria, colaboração, imersão e mobilidade.

2.1 ANÁLISE DE REQUISITOS

Há algumas abordagens de desenvolvimento de sistemas digitais: o processo cascata, o processo espiral, o processo unificado e métodos ágeis (JACOBSON et al., 1999; BECK, 1999; MANIFESTO, 2001) são alguns exemplos. O processo cascata é um processo seqüencial, no qual uma etapa começa quando termina a anterior: a modelagem só começa depois de completar a análise de requisitos, e a implementação tem início após a finalização da revisão completa da modelagem (BOEHM, 2006). O processo espiral é orientado a riscos e defende a engenharia simultânea, quando diferentes aspectos são desenvolvidos paralelamente: análise de requisitos, prototipação, implementação de componentes críticos (BOEHM, 2006). Já o Processo Unificado, ou *Rational Unified Process* (RUP), é iterativo e consiste numa compreensão crescente do problema através de refinamentos sucessivos e a construção incremental de uma solução efetiva ao longo de múltiplos ciclos (BOOCH et al., 1998). É um processo para desenvolvimento de *software* orientado a objetos, que apresenta uma visão mais integrada das atividades

técnicas, gerenciais e de infra-estrutura e abrange o ciclo inteiro de desenvolvimento (JACOBSON et al., 1999). Já os métodos ágeis de programação (ou *Agile Programming*) se baseiam em um pequeno conjunto de valores, princípios e práticas, centrados na satisfação do usuário e na interação contínua com o mesmo ao desenvolver pequenos protótipos funcionais ao longo do processo todo (BECK, 1999; MANIFESTO, 2001).

As diferentes abordagens incluem a análise de requisitos, que em alguns casos é realizada em uma etapa única (modelo cascata) ou se repete ao longo do processo (espiral, RUP, métodos ágeis). A análise de requisitos consiste em trabalhar junto com os usuários para verificar suas necessidades. Artefatos são utilizados para auxiliar a equipe envolvida: relatórios, diagramas, descrição de cenários e casos de uso são alguns exemplos. O objetivo principal da análise de requisitos é descrever com precisão, por meio de discussões acerca da ferramenta a ser desenvolvida, as funcionalidades a partir de um estudo exploratório das necessidades dos usuários. É costume categorizar os requisitos em funcionais e não-funcionais. Os requisitos funcionais englobam todos os aspectos visíveis do sistema, em particular as entradas e respectivas saídas. Já os requisitos não-funcionais se referem àqueles que não são visíveis tais como desempenho, confiabilidade, extensibilidade ou reusabilidade.

Apesar da existência de recomendações para análise de requisitos consolidadas na área de computação (BOOCH et al., 1998; JACOBSON et al., 1999), o caráter diferenciado de uma ferramenta educacional necessita de propostas que contemplem além dos aspectos computacionais, aspectos pedagógicos e requisitos baseados no perfil do aprendiz. Enquanto a análise de requisitos de aplicativos em geral enfatiza processos e fluxos de entradas e saídas, uma ferramenta digital de aprendizagem tem por objetivo apoiar o professor e o aluno no processo de ensino-aprendizagem, tanto o professor nas suas práticas pedagógicas quanto o aluno na construção de seu conhecimento. O armazenamento e a entrega de informações aos alunos replica uma situação de sala de aula tradicional onde um professor transmite conteúdos aos aprendizes, paradigma instrucionista criticado por Freire (1997), focado no ensino e não na aprendizagem dos alunos.

A comunidade científica tem buscado alternativas à análise de requisitos tradicional para atender à especificidade de ferramentas educacionais, dos professores e dos

alunos (ANDRADE et al., 2001; GOMES; WANDERLEY, 2003; CRUZ NETO et al., 2003; BASSANI et al., 2006; MORAES, 2007; LACERDA, 2007).

Para Bassani et al. (2006), um *software* educativo busca promover a aprendizagem, apoiando a demanda cognitiva dos alunos e a construção de relações e conceitos. A modelagem de um projeto de *software* educativo não pode se limitar a definições de tarefas ou processos e armazenamento de dados, mas precisa de levantamento de requisitos que vão além do contexto imediato de uso e perpassam decisões sobre conteúdos, envolvendo seleção, escolha de tipos de conteúdos, seqüência, organização, didática e perfil de usuários. Para isto, a análise de requisitos de um *software* educativo deve incluir a especificação da abordagem pedagógica, a definição do tipo de *software*, a indicação do público alvo, a profundidade e abrangência do conteúdo e as perspectivas de colaboração (BASSANI et al., 2006).

A *Web* tem impulsionado a criação de ambientes digitais de aprendizagem. Espaços informatizados que permitem a gestão de informações e a colaboração e interação de alunos e professores por meio da Internet são denominados Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA). Estes ambientes oferecem ferramentas para a construção e implementação de cursos baseados na *Web* que podem ser totalmente a distância ou podem complementar aulas presenciais. Para Moraes (2007), requisitos fundamentais para um ambiente virtual de aprendizagem são: (1) a criação de uma interface gráfica temática adequada ao público alvo, (2) a organização do ambiente em seções que facilitam a navegação no mesmo, (3) a completude ou auto-suficiência do ambiente, (4) a autonomia ou acessibilidade de qualquer plataforma em horário escolhido pelo aluno.

Já Andrade et al. (2001), separam a análise de requisitos de um ambiente de aprendizagem a distância em duas fases: a primeira se refere ao projeto (*design*) educacional e a segunda à modelagem computacional. Os autores defendem que o projeto educacional consiste na definição da arquitetura pedagógica e a modelagem computacional se refere aos requisitos computacionais propriamente ditos. Neste contexto, a proposta pedagógica deve ser elaborada para promover autonomia e reflexão crítica; os objetivos pedagógicos devem estar associados a métodos interligados às atividades presenciais e aos possíveis métodos associados às atividades a distância. O ambiente deve permitir a produção e ilustração de

conceitos, a realização de experimentos, e deve ainda incentivar a interação social dos usuários.

Inspirado na Biologia, Lacerda (2007) propõe um modelo helicoidal para a análise de requisitos de um *software* educacional, onde se baseia numa molécula orgânica que contém informação necessária para o funcionamento de organismos vivos. No modelo proposto por Lacerda (2007), a equipe multidisciplinar é representada por um cilindro no qual há quatro hélices se entrelaçando: público-alvo, contexto, conteúdo e avaliação. O modelo cilíndrico resulta em cinco produtos: planejamento, pesquisa, capacitação da equipe, delimitação da envergadura do *software* e modelagem do *software* educativo com descrição e diagramação de casos de uso.

A aprendizagem colaborativa despertou o interesse de Cruz Neto et al. (2003) que propõem um processo de análise de requisitos de sistemas colaborativos de aprendizagem baseado em quatro etapas seqüenciais: (1) observação etnográfica da atividade de ensino-aprendizagem que resulta em entrevistas e observações gravadas de diálogos, (2) a análise qualitativa dos dados coletados na primeira etapa, (3) a modelagem sócio cultural da atividade baseada nos princípios da teoria da atividade e (4) a geração de requisitos por meio de tabela de necessidades e diagramas de casos de uso.

E, para Gomes e Wanderley (2003), o usuário de um *software* educativo não tem por objetivo aprender a fazer algo, mas sim aprender algum conceito. Portanto, este tipo de aplicativo interfere no desenvolvimento cognitivo dos usuários. Os autores dividem os requisitos de um *software* educacional em dois grandes grupos: (1) requisitos de domínio (ou aprendizagem de conceitos) e (2) requisitos de atividades (contextos de uso). Os requisitos de domínio são levantados por meio da identificação das necessidades relacionadas ao domínio e na implementação de protótipos que são analisados com usuários potenciais. Este trabalho culmina na identificação das necessidades de contexto de uso que norteia, por sua vez, a elaboração de casos de uso.

As alternativas propostas à análise de requisitos tradicional acima relatadas se resumem a algumas sugestões e recomendações que surgiram da experiência dos autores: entrevistas com usuários, observações, prototipações ou desenvolvimento participativo.

2.2 O NOVO APRENDIZ

Com o crescente acesso às tecnologias digitais, o uso das mesmas faz parte do dia-a-dia do aluno. Segundo Prensky (2001, p. 1), “ocorreu recentemente uma grande descontinuidade; uma singularidade tão fundamental que não há possibilidade de volta: a disseminação de tecnologias digitais nas últimas décadas do século XX”. Os aprendizes de hoje são nativos digitais, acostumados à velocidade, à multitarefa, ao acesso aleatório, a ver gráficos primeiro, à diversão e à conectividade do mundo de fantasia de seus *videogames*, da televisão e da Internet e ficam entediados pela grande maioria das atividades educacionais atuais. Os professores de hoje que não nasceram na Era Digital de seus alunos podem ser considerados Imigrantes Digitais, que, como estrangeiros, aprenderam uma nova língua. Estes, falam uma língua ultrapassada, da era pré-Digital e lutam para ensinar uma população que fala uma língua completamente nova (PRENSKY, 2001).

Para muitos autores (LÉVY, 1997; RAINES, 2002; PRENSKY, 2003; OBLINGER, 2004; ALVES, 2007, entre outros), o novo aprendiz mudou, pois desenvolveu um conjunto de atitudes e aptidões resultantes de ter crescido em ambientes ricos em multimídia e em tecnologias da informação e da comunicação (TIC). Segundo Oblinger (2004), é comum aceitarmos que as TIC têm mudado a maneira como nós vivemos, trabalhamos, aprendemos e nos divertimos, no entanto, subestimamos o impacto das mesmas nos novos aprendizes. As atitudes e habilidades dos novos aprendizes têm sido moldadas pelos ricos ambientes multimídia. Criados na presença de jogos de *videogame* e de computador, os aprendizes têm mais experiência com jogos digitais do que com leituras (OBLINGER, 2004).

O aprendiz de hoje é fluente digital. Está acostumado a usar ferramentas digitais para sua comunicação com amigos e colegas numa mistura de telefone celular, mensagens instantâneas e e-mails. Ele é um aprendiz experimental, prefere aprender fazendo do que aprender ouvindo (OBLINGER, 2004). Sua exposição à Internet e às outras mídias digitais têm determinado como recebe informação e como aprende (OBLINGER, 2004; ALVES, 2007).

Savage (2003 apud Oblinger, 2004) compara as gerações da televisão (Geração TV), do computador pessoal (Geração PC) e da Net (Geração Net) e analisa como

estas visualizam a *Web*, a comunidade, a carreira e a autoridade (Tabela 1). Naquele estudo, a geração da Net é definida como a geração dos nascidos depois de 1982, é fascinada pelas novas tecnologias, prefere trabalhar em grupos e gosta de atividades experimentais. É uma geração que tem hoje entre 13 e 26 anos, é uma geração multi-tarefa, orientada a objetivos, demonstra atitude positiva e um estilo de trabalho colaborativo (RAINES, 2002; OBLINGER, 2004; ANCONA; BRESMAN, 2007).

Tabela 1 - Como as diferentes gerações percebem a Web, a comunidade, a carreira e a autoridade.

	Geração TV	Geração PC (Computador Pessoal)	Geração Net (Web)
Web	O que é?	Web é uma ferramenta	Web é oxigênio
Comunidade	Pessoal	Pessoal estendida	Virtual
Perspectiva	Local	Multinacional	Global
Carreira	Uma carreira	Múltiplas carreiras	Múltiplas re-invenções
Fidelidade	Corporação	Si mesmo	Essência própria
Autoridade	Hierarquia	Não se impressiona	Si próprio como especialista

Fonte: SAVAGE, 2003 apud OBLINGER, 2004

Para Prensky (2003), cada geração é definida por suas experiências de vida, tem diferentes atitudes, crenças e sensibilidades. As experiências de vida que moldaram o aprendiz de hoje são diferentes das experiências de vida de gerações anteriores. O autor estima que atualmente quando um indivíduo alcança 21 anos de idade, ele terá enviado 200.000 mensagens de e-mail e ainda terá passado 5.000 horas lendo, 10.000 horas jogando *videogame*, 10.000 horas falando no celular e 20.000 horas assistindo televisão (PRENSKY, 2003).

Os nativos digitais entendem o mundo digital pois este é o seu mundo, e não precisam aprender a utilizar as tecnologias, mas apenas experimentar as mesmas (PRENSKY, 2001). Segundo Jones et al. (2005), crianças da nova geração Net são diferentes de crianças das gerações anteriores, pois elas vivem num mar de informações e encontram-nas numa quantidade que corresponde à quantidade de informações que seus avós encontrariam ao longo de todas suas vidas. A nova geração está acostumada à informação que se torna obsoleta, a ter que atualizar

seu conhecimento constantemente, e a compartilhar seu conhecimento instantaneamente e virtualmente. As crianças de hoje não conhecem as tecnologias análogas de seus pais; para elas o mundo digital sempre existiu. Suas mentes processam informações e aprendem conceitos de forma diferente de seus pais, pois vêem o mundo de uma perspectiva digital (JONES et al., 2005).

O Brasil tem acompanhado o crescimento do acesso às mídias digitais onde houve recentemente uma intensificação do uso e da posse das TIC. Conduzida em 2007 pelo Comitê Gestor da Internet do Brasil, com entrevistados de 17 mil domicílios em zonas urbanas e com idade a partir de 10 anos, uma pesquisa tem mostrado o aumento do acesso às TIC em comparação a estudos de 2005 e 2006 (CETIC, 2008).

A análise dos dados coletados pelo Centro de Estudos sobre as Tecnologias da Informação e da Comunicação (CETIC) revelou que a televisão se mantém presente em quase todos os domicílios brasileiros (98% com aumento de 2% em relação a 2005), seguida pelo rádio, que tem diminuído de 92% em 2005 para 89% em 2007, e pelo telefone celular (de 61% em 2005 para 74% em 2007), o qual está gradativamente substituindo o telefone fixo (54% em 2005 e 45% em 2007) nas comunicações domésticas. O computador de mesa já está presente em 24% das residências e o *videogame* em 18% (CETIC, 2008) (Figura 1).

Figura 1 - Proporção de domicílios com equipamentos de TIC (%) (CETIC, 2008)

Outro resultado do CETIC mostra que em 2007, o acesso à Internet alcançou 17% de domicílios brasileiros, o que representa um crescimento de quatro pontos percentuais em relação ao ano passado (Figura 2). E, conexões em banda larga estão presentes em 50% dos domicílios que possuem acesso à Internet, 42% conectados à rede por acesso discado. O acesso discado em 2006 era predominante (49%), enquanto a banda larga representava 40%, o que mostra um crescimento de dez pontos percentuais no período. Ao levar em conta o acesso à Internet, em 2007 53% dos brasileiros entre 10 e 15 anos de idade acessaram a rede, o que corresponde a um aumento de 23 pontos percentuais em relação a 2005. Quanto ao local de acesso à Web, historicamente sempre foi o domicílio. Com isto a proporção de usuários de Internet em casa está quase inalterada (42% em 2005 e 40% em 2006 e 2007). A população acessando a Internet do trabalho ou da escola também permanece praticamente inalterada, mas a conexão de centros

públicos de acesso gratuito pulou de 18% em 2005, para 30% em 2006, para alcançar 49% em 2007 (CETIC, 2008).

Figura 2 - Proporção de Domicílios com Acesso à Internet (%) (CETIC, 2008)

A pesquisa do CETIC (2008) apontou que, em 2007, mais da metade da população com mais de 10 anos (53%) informou ter usado um computador, entretanto 40% usaram um computador nos últimos 3 meses, o que representa um aumento de sete pontos percentuais em relação a 2006 e dez pontos em relação a 2005. Quanto à faixa etária, quanto mais baixa a idade, maior o aumento do contato com computador: o uso do computador por indivíduos entre 10 e 15 anos aumentou de 43% em 2005 para 68% em 2007. O crescimento mais expressivo do uso de computadores ocorreu em domicílios com renda de três a cinco salários mínimos, nos quais o uso do computador passou de 32% a 58% no período (Figura 3).

Figura 3 - Proporção de indivíduos que usaram um computador nos últimos 3 meses por faixa etária e renda familiar (%) (CETIC, 2008)

O resultado da pesquisa do CETIC mostra que no Brasil também há um crescimento na disseminação e no acesso às tecnologias digitais, e com a adoção das TIC em

nossa cultura, muda a nossa forma de ver o mundo. A sala de aula pode ser considerada um microcosmo para tratar destes assuntos. E, para envolver o aluno nativo digital e engajá-lo no seu processo de aprendizagem temos que levar em conta suas experiências de vida e sua fluência digital (JONES et al., 2005). A inclusão de tecnologias com acesso à *Web* em atividades educacionais é uma forma de ampliar o espaço para além das fronteiras da sala de aula (MORAES, 2007). A inserção e utilização de TIC no sistema educacional atual é uma forma de motivar alunos que não estão interessados em aprender, bem como uma forma de atender nativos digitais em sua língua e maneira de pensar. Para Papert (1999), Cavallo (2000) e Almeida (2007) o papel do computador no processo de construção de conhecimento é o de catalisar um conjunto de habilidades que podem ser transferidas para um contexto diferente. Por meio das ferramentas computacionais, os aprendizes participam de um processo de projeto e de construção e, assim, generalizam as formas de conhecimento que possuem. Com sua fluência digital, usuários passam a representar seus conhecimentos de diferentes formas, de modo a aplicá-los em várias situações (PAPERT, 1999; CAVALLO, 2000; ALMEIDA, 2007).

Alguns autores como Wang et al. (2008) e Chang e Guetl (2007) vão além de recomendar o uso de TIC para atender o novo aprendiz, pois acreditam que devido à abundância de conteúdos multimídia disponíveis na Internet, a existência de ambientes de aprendizagem tem mudado formas tradicionais de ensino-aprendizagem. Professores precisam estar cientes dos recursos multimídia disponíveis na *Web* e reconhecer que uma nova geração de aprendizes fluentes digitais requer uma crescente demanda de recursos digitais inteligentes e sofisticados de seus professores (WANG et al., 2008). Professores devem continuamente considerar novas idéias, novas estratégias de aprendizagem e capitalizar na tecnologia moderna a fim de acomodar os estilos preferidos de seus alunos (CHANG; GUETL, 2007).

2.3 PARADIGMAS EDUCACIONAIS

O processo de ensino-aprendizagem pode ser visto sob diferentes pontos de vista. Neste sentido, paradigmas educacionais têm abordagens centradas no professor ou no aprendiz. Instrucionismo, construtivismo e construcionismo são alguns exemplos que são descritos a seguir.

O instrucionismo fundamenta-se no princípio de que a ação de ensinar é fortemente relacionada com a transmissão de informação ao aluno. Sob esse ponto de vista, a melhoria do ensino consiste em aperfeiçoar as técnicas de transmissão de informação do professor e a aquisição da mesma pelo aluno (VALENTE, 1993). Em oposição a este paradigma, Paulo Freire critica a concepção bancária da educação, concepção inspirada no sistema capitalista onde o educador é o que educa, os educandos, os que são educados; o educador é o que sabe, os educandos, os que não sabem (FREIRE, 1983). Nesta visão bancária, centrada no professor, o saber é uma doação dos que se julgam sábios aos que julgam nada saber (FREIRE, 1983). Esta abordagem não prepara cidadãos capazes de enfrentar as mudanças que a sociedade está passando, mas prepara profissionais obsoletos (VALENTE, 1993). E, a preocupação com a melhoria da educação (PRESIDÊNCIA, 2007; PNE, 2007; LOPES, 2007) e a falta de motivação dos alunos em ambientes formais de aprendizagem indica uma necessidade de mudança nas dinâmicas escolares (TAPIA; FITA, 1999).

Do ponto de vista do aprendiz, a aprendizagem segundo a Epistemologia Genética (PIAGET, 1972) depende de um processo construtivo que ocorre através de construções e reconstruções dos sistemas de significação e dos sistemas lógicos de cada indivíduo. Segundo este paradigma construtivista, para que o indivíduo faça suas (re)construções é fundamental que ele possa interagir com objetos (natureza, mundo físico, cultura, artes, ciências, linguagens), com outros sujeitos (sociedade, instituições) (PIAGET, 1972) e agora com as tecnologias (FAGUNDES et al., 2005). A forma de entender como as pessoas aprendem tem evoluído ao longo do tempo. Ao invés de uma resposta a uma recompensa ou a uma reprimenda, a

aprendizagem é vista como algo a ser construído, um processo ativo no qual o aprendiz desenvolve seu entendimento ao ligar fatos, experiências e prática (OBLINGER, 2004).

A aprendizagem construtivista considera o ambiente como sendo o cenário onde acontece o processo de interação, que promove e desencadeia um processo de construção interna de significados. Assim, o cenário se torna um ambiente no qual professores e alunos desenvolvem ações que podem levar a processos de aprendizagem (BASSANI et al., 2006).

Para (PAPERT, 1999) parte da aprendizagem consiste em colher informações, lendo livros, escutando professores, visitando páginas Web. A outra parte da aprendizagem consiste em fazer, construir, realizar e executar. Nesta abordagem construcionista, o aprendiz constrói seu próprio conhecimento por meio do computador (PAPERT, 1986). Isto ocorre quando o aluno constrói um objeto de seu interesse, é o aprendizado por meio do fazer, do construir de um objeto idealizado por ele e para o qual está motivado, pois o envolvimento afetivo torna a aprendizagem mais significativa (PAPERT, 1986; VALENTE, 1993).

Crianças se envolvem no processo de aprendizagem, quando trabalham com tecnologia e quando trabalham em projetos que surgiram de seu interesse pessoal (RESNICK, 2006). A pedagogia de projetos explora os princípios do construtivismo e dá suporte ao construcionismo - nela, o estudante constrói conhecimento a partir da exploração de uma questão de investigação (FAGUNDES et al., 2005).

Já na visão de Vygotsky (1978), a construção do conhecimento ocorre na interação social do indivíduo. A aprendizagem é vista como um ato de participação. Fazer parte de uma comunidade enriquece a aprendizagem e o conhecimento através de práticas compartilhadas (VYGOTSKY, 1978). A construção do conhecimento não depende apenas do professor, mas também da interação do mesmo com seus alunos, e da interação entre alunos, pois é fundamental que a aprendizagem ocorra de forma colaborativa (ZEVE et al., 2000). Em qualquer situação de aprendizagem, a interação entre os participantes (educadores e alunos) é de extrema importância (ROCHA, 2002).

Para Savery e Dufty (1996), a aprendizagem vem de nossa interação com o ambiente. Não podemos falar *do que* aprendemos, sem falar *de como* aprendemos.

Os conflitos cognitivos que vão surgindo são estímulos para a aprendizagem e determinam a organização e a natureza do que está sendo aprendido. O objetivo do aprendiz é o ponto de partida da aprendizagem. O conhecimento evolui por meio de negociações sociais e pela avaliação da viabilidade da compreensão individual. O ambiente social é primordial, pois provê visões alternativas, e informações adicionais com as quais o aprendiz pode testar a viabilidade de sua compreensão e construir seu conhecimento de acordo com seu entendimento (SAVERY; DUFTY, 1996).

Em resumo, construtivismo, construcionismo, aprendizagem por projetos e aprendizagem colaborativa, são paradigmas educacionais recentes e consolidados por meio dos quais a abordagem da educação é centrada no aprendiz que constrói o seu conhecimento interagindo com o objeto de estudo, com o professor, com outros alunos e com a sociedade em geral.

2.4 APRENDIZAGEM APOIADA POR TECNOLOGIA

A nova geração de aprendizes - a geração dos nativos digitais - se envolve em experiências de aprendizagem informais em diferentes situações, tais como ao jogar jogos eletrônicos, ao interagir com conteúdos na Internet ou ao participar de comunidades *on-line* (PRENSKY, 2001).

Para Almeida (2001), atividades apoiadas por tecnologias digitais criam uma relação entre alunos e professores que aumenta o interesse dos alunos nos seus processos de aprendizagem, bem como aumenta sua auto-estima. A inserção de tecnologia na educação formal aproxima os nativos digitais de seus professores imigrantes digitais (PRENSKY, 2001).

Algumas definições de formas de aprendizagem apoiadas por tecnologias digitais encontradas na literatura são apresentadas a seguir.

A aprendizagem não ocorre apenas nas salas de aula dos ambientes escolares. A **aprendizagem informal** (ou *informal learning*) se refere a qualquer aprendizagem que acontece além da sala de aula e do ambiente formal, do envolvimento da comunidade e da sobrevivência diária, e envolve tudo que é aprendido durante a

vida nos processos diários em casa, no trabalho e nas atividades de lazer. Com ela, os aprendizes iniciam e controlam sua aprendizagem, que pode ocorrer em qualquer interação que aconteça além dos muros da escola, seja na família ou na comunidade, no processo de interação com pessoas, assistindo televisão ou navegando na Internet, sem intencionalidade de aprendizagem (CHAN et al., 2004). Para Sedita (2003), aprendizagem informal resulta das atividades diárias relacionadas ao trabalho, à família ou ao lazer. Não é estruturada e normalmente não é acompanhada de certificação. Aprendizagem informal consiste no acesso ao conhecimento implícito (MASON; RENNIE, 2007). Não é o oposto da aprendizagem formal, mas se refere à ação contextualizada, à colaboração, orientação e reflexão, e não somente a estudo e leituras (CROSS, 2007). Ocorre no momento que ela é precisa (*just-in-time*) e na quantidade necessária para seu uso imediato (MASON; RENNIE, 2007).

Segundo Oblinger (2004), a crescente disponibilidade de conteúdos diversos tem impulsionado situações de aprendizagem informal, sejam por um aprendiz que busca uma informação na *Web* ou numa exposição, ou pelo aprendiz do século XXI que constrói seus próprios caminhos de aprendizagem. A aprendizagem ocorre em diversos estilos, por diversas razões. A aprendizagem informal é auto-dirigida, motivada internamente, não é limitada por tempo, espaço ou estruturas formais. A aprendizagem é facilitada pela tecnologia (SHEPPARD, 2000). Para Wang et al. (2008), o acesso a documentos digitais de especialistas, o engajamento em discussões com seus pares por meio de tecnologias digitais e o uso de conteúdos autênticos têm beneficiado a criação de comunidades de aprendizagem que apóiam uma aprendizagem profunda. Especificamente, segundo os autores, os *Weblogs* (ou *Blogs*) têm se popularizado e especialistas e acadêmicos os adotaram para publicar seus artigos e para interagir com seus leitores. E, com o surgimento de RSS (*Really Simple Syndication*) (HARVARD, 2003) e acoplado a um programa leitor específico, os *blogs* se transformam num meio de espalhar conhecimento e formar comunidades de aprendizagem sobre assuntos específicos. O material apresentado pode ser facilmente catalogado por um processo automático, o que permite o desenvolvimento de atividades de aprendizagem. Portanto, *blogs* podem ser considerados uma extensão de situações de aprendizagem no ciberespaço (WANG et al., 2008).

Jogos digitais são ambientes informais de aprendizagem (OBLINGER, 2004; PRENSKY, 2003). É comum ver um jovem passar 50, 60, 70 horas, ou mais, em um ambiente virtual jogando. Uma pesquisa conduzida pela Universidade de Wisconsin, observou um grupo de crianças de 7 anos jogando *Age of Mythology*, lendo sobre mitologia nesse próprio jogo e buscando informações na *Web*, alugando livros de mitologia da biblioteca, desenhando e escrevendo histórias sobre mitologia e criando ligações entre figuras mitológicas e heróis de cultura popular atual. Este tipo de aprendizagem ocorre em casa e fora do ambiente escolar (GEE, 2003). Jogos de computador fornecem informação sob demanda (*on demand*), no momento adequado (*just in time*) e inserida no contexto de seu uso efetivo. Jogos colocam informação dentro dos mundos nos quais os jogadores se deslocam, deixam claro o significado de tal informação e como ela se aplica a este mundo (GEE, 2003).

A **Educação a Distância** (EaD ou *distance learning*) é caracterizada pela separação física entre professor e alunos em pontos geograficamente distintos (KELLER; SCHREIBER, 1999). A EaD propicia um aprendizado autônomo, independente, ligado à experiência e com cada aluno no seu ritmo, onde os alunos são sujeitos ativos nas suas formações e o professor atua como orientador. A EaD permite a democratização do acesso à Educação com maior divulgação do conhecimento, evitando o deslocamento do aluno e ampliando a diversificação da oferta de cursos. Segundo Liu et al. (2007), a proliferação de redes sem fio e de plataformas móveis provocou uma mudança na educação a distância que migrou de computadores de mesa para equipamentos móveis.

Para Uden e Damiani (2007), a **aprendizagem mesclada** (ou *blended learning*) consiste na combinação de aprendizagem presencial, aprendizagem síncrona *on-line*, e aprendizagem assíncrona a distância. É uma modalidade que vem ganhando adeptos, pois explora o potencial de ambas formas de aprendizagem (DERNTL; MOTSCHNIG-PITRIK, 2004). Pesquisas sobre essa combinação têm sido relatadas para ambientes universitários onde parte da aprendizagem ocorre presencialmente em salas de aula e parte a distância (ROCHA, 2002; DERNTL; MOTSCHNIG-Pitrik, 2004; KIRKLEY; KIRKLEY, 2005; EDUCAUSE, 2006).

Com a disponibilidade de computadores móveis torna-se possível estudar o processo de aprendizagem em momentos e espaços físicos onde interações individualizadas não seriam possíveis (BULL et al., 2005). A **aprendizagem móvel**

(*mobile learning* ou *m-learning*) é caracterizada por mudanças rápidas e contínuas de contexto, pois o aprendiz se desloca entre espaços físicos e encontra recursos locais, serviços e outros aprendizes (CHAN et al., 2004).

Para Liu et al. (2007), com a evolução das redes de computadores e das tecnologias de rede sem fio, a aprendizagem evoluiu da aprendizagem presencial, para a aprendizagem a distância e para a aprendizagem móvel. Segundo os autores, a aprendizagem móvel se baseia nas redes sem fio e na utilização de equipamentos móveis como PDAs (*Personal Digital Assistant*), telefones celulares e plataformas móveis como *laptops*. Já para Taxler e Leach (2006), a aprendizagem móvel se refere ao uso de equipamentos eletrônicos pequenos, leves e portáteis em atividades educacionais na sala de aula, em passeios escolares, em casa, no trabalho ou em viagem. Parsons et al. (2006) argumentam que aprendizagem móvel não é apenas uma nova abordagem de *e-learning* que simplesmente utiliza equipamentos e plataformas móveis. A aprendizagem móvel só pode ser oferecida quando leva em conta as limitações e os benefícios dos equipamentos móveis, e pode ser conceitualizada de diferentes pontos de vista: mobilidade do aprendiz, mobilidade do equipamento e mobilidade dos serviços.

Para Syvänen et al. (2005), ambientes de **aprendizagem ubíqua** (ou *ubiquitous learning*) são ambientes onde aprendizes são totalmente imersos no processo de aprendizagem. A computação pervasiva, ou ubíqua, participa da experiência de imersão como mediadora entre o contexto mental, o contexto físico ou real e o contexto virtual do aprendiz. E, quando estes contextos se sobrepõem e formam uma entidade única cria-se um ambiente de aprendizagem ubíqua. Já para Yang (2006), ambientes de aprendizagem ubíqua provêm uma arquitetura de aprendizagem inter-operável e pervasiva para conectar, integrar e compartilhar três dimensões de recursos de aprendizagem: colaboradores, conteúdos e serviços.

2.5 A IMPORTÂNCIA DA AUTORIA

A construção do conhecimento ocorre quando o aluno interage com o objeto de estudo não podendo se limitar apenas à visualização de informações numa tela quando esta interação é apoiada por sistemas digitais. É importante o aluno navegar entre informações, seguindo seu ritmo de aprendizagem, mas é fundamental o aprendiz desempenhar o papel de autor e produtor de conhecimento para que sua aprendizagem seja efetiva (WENGER, 1998; PAPERT, 1986; LOPES; KRÜGER, 2001; RESNICK, 2006; ALMEIDA, 2007).

Resnick (2006) tem refletido sobre a evolução da sociedade no final do século XX e sua influência no foco da aprendizagem (ilustrada na Figura 4). Segundo o autor nos anos 1980 houve uma transição entre a sociedade industrial e a sociedade de informação. Chegou-se à conclusão que recursos naturais e manufatura não seriam mais forças condutoras das economias e das sociedades, mas sim a informação. Nos anos 1990, falou-se da sociedade do conhecimento, pois se percebeu que a informação em si não traria muita mudança. A chave era: como pessoas transformam informação em conhecimento e como elas organizam e compartilham esse conhecimento. Mas, o sucesso no futuro será baseado não apenas no conhecimento e sim na habilidade de pensar e agir com criatividade. O século XXI está mudando para uma sociedade criativa, é a Era da criatividade. A infância é o período mais criativo da vida. A criatividade das crianças deve ser incentivada para desenvolver esta habilidade (RESNICK, 2006).

Figura 4 - Evolução da Sociedade segundo (RESNICK, 2006)

Lopes e Krüger (2007) ressaltam a importância de criar aplicações educativas que estimulem a criatividade e a capacidade de inovação, pois estas ferramentas aumentam o potencial e a produtividade dos alunos, auxiliando no processo de aprendizagem dos mesmos (LOPES; KRÜGER, 2001; LOPES, 2007).

Para Almeida (2007) e Wenger (1998), aprendizes devem ter amplo acesso a práticas maduras e devem se engajar não apenas em atividades de aprendizagem, mas também em atividades produtivas. A redação, por exemplo, é uma atividade de grande importância, pois ao relatar suas observações, o aprendiz tem a oportunidade de expressar seus interesses, assim como os eventos que marcaram sua vida e de refletir sobre como estas experiências o influenciaram (DIEU; CAMPBELL; AMMANN, 2006). A redação de histórias é um processo de auto-descobrimiento criativo e provê um contexto realista para comunicação e interação com os outros, facilitando a prática da língua, desenvolvendo a fluência e estimulando a imaginação. As ferramentas digitais atuais permitem a fácil edição de textos, a composição com outras mídias e a comunicação com os outros. E, ao se comunicar com seus pares e com tutores, trocando opiniões sobre assuntos de interesse comum, os aprendizes estendem suas perspectivas, negociam novos significados, monitoram seu próprio desempenho e verbalizam suas intenções com maior fluência (DIEU; CAMPBELL; AMMANN, 2006).

Quanto aos jogos digitais, segundo Gee (2003), estes são máquinas de aprendizagem, sejam eles *videogames* ou jogos de computador. Ao descrever jogos de sucesso, Gee (2003) os apresenta como programas que operam no limite de competência do jogador, desafiadores e difíceis o suficiente para prender o interesse do jogador, sem perder a jogabilidade e são até, muitas vezes, agradavelmente frustrantes, o que mantém a motivação. Para isto, bons jogos permitem que jogadores os ajustem para seu próprio nível de dificuldade e estilos de aprendizagem. Muitas vezes, os jogos colocam o jogador na posição de produtor e não apenas de consumidor, pois junto com os desenvolvedores, as ações dos jogadores co-criam o mundo do jogo. Em alguns jogos, os participantes escolhem o que construir no mundo do jogo, quais habilidades eles possuem e quais missões virtuais eles vão cumprir. Muitas vezes, os jogadores podem usar aplicações que vêm com o jogo para construir cenários, mapas ou episódios (GEE, 2003).

O trabalho com ambientes interativos de autoria tem fundamento nas idéias de diferentes pensadores contemporâneos como: Piaget, Papert e Vygostky, e provê um contexto de aprendizagem significativa (CERQUEIRA, 2007). Um exemplo é um ambiente de programação em linguagem LOGO, um *software* de autoria que torna o aluno mais ativo e engajado no seu processo de aprendizagem (CERQUEIRA, 2007). Com a utilização de uma ferramenta de autoria multimídia, o processo de construção agrega muito mais valor ao pensamento cognitivo do autor do que muitas vezes a simples navegação entre telas prontas (PAMBOUKIAN et al., 2007).

As rápidas mudanças ocorridas nos últimos tempos indicam que as pessoas vão testemunhar grandes mudanças em poucos anos. Portanto, é importante desenvolver nas crianças habilidades para participar da construção do que é novo, estimulando sua criatividade, colocando-as no papel de protagonistas de seu processo de aprendizagem por meio de ferramentas digitais de autoria (WENGER, 1998; PAPERT, 1999; LOPES; KRÜGER, 2001; FICHEMAN, 2002b; RESNICK, 2006; DIEU; CAMPBELL; AMMANN, 2006; ALMEIDA, 2007; LOPES, 2007; CERQUEIRA, 2007; PAMBOUKIAN et al., 2007).

2.6 APRENDIZAGEM COLABORATIVA APOIADA POR COMPUTADOR

De acordo com os paradigmas construtivistas e sócio-construtivistas, a aprendizagem é uma mudança de estado (emocional, cognitivo, fisiológico) que resulta de experiências e interações com conteúdos e com outras pessoas (SIEMENS, 2005). A tecnologia tem reorganizado o modo de viver, de se comunicar e de aprender. Uma aplicação educativa que oferece ambientes colaborativos delega autoridade ao aluno e seus colegas, que são encorajados a construir e avaliar idéias (DUFTY; CUNNINGHAM, 1996). A inclusão de ambientes colaborativos em uma aplicação educacional vai além de integrar recursos de comunicação entre usuários, apesar de ela ser essencial, pois é pela troca que emergem as descobertas e a aprendizagem. Porém, a comunicação, apenas, não garante que ocorra a colaboração, é preciso incluir um modelo de interação social

como elemento central para a criação de comunidades de aprendizagem. (BASSANI et al., 2006)

O campo de pesquisa de trabalho cooperativo apoiado por computador - CSCW (*Computer Supported Cooperative Work*) objetiva estudar como as atividades cooperativas e sua coordenação podem ser apoiadas por meio dos sistemas computadorizados. O apoio do computador ao trabalho cooperativo justifica-se por oferecer facilidades de comunicação e de monitoração, e assim reduzir a complexidade das atividades de coordenação e negociação a serem conduzidas pelos atores envolvidos.

Segundo Ellis et al. (1991), sistemas CSCW são sistemas de computadores que apoiam grupos de pessoas envolvidas em uma tarefa (ou meta) comum e que provêem uma interface ao ambiente compartilhado. Estes sistemas podem apoiar atividades síncronas (como sistemas de bate-papo ou mensagens instantâneas) ou assíncronas (como em editores de texto compartilhados) e podem ajudar um grupo de pessoas no mesmo local físico ou geograficamente distribuído. Ao analisar os diferentes tipos de interação em sistemas CSCW, Ellis propôs uma categorização das mesmas que leva em conta as considerações de tempo e espaço. As categorias estão representadas e exemplificadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Categorias de Interação Colaborativa

	SÍNCRONA	ASSÍNCRONA
MESMO LOCAL	Bate-papo em rede local	Sistema de arquivos compartilhado em rede local
LOCAIS DIFERENTES	Videoconferência	Editor de texto colaborativo via Web

Fonte: ELLIS et al., 1991

A aprendizagem colaborativa apoiada por computador - CSCL (*Computer Supported Collaborative Learning*) pode ser considerada um tipo particular de CSCW, dedicada especificamente às aplicações educativas. As quatro categorias de interação propostas por Ellis são adequadas para sistemas CSCL que apóiam a aprendizagem colaborativa no mesmo espaço físico, em espaços físicos diferentes, em atividades simultâneas ou não. Na Tabela 2 há um exemplo de atividade para cada tipo de

interação. A colaboração pode ser síncrona, como em sistemas de videoconferência ou editores de composição musical colaborativos (FICHEMAN et al., 2003; FICHEMAN et al., 2002 a), e a colaboração pode ser assíncrona, como em editores de texto colaborativos (GOOGLEDOCS, 2007). Sistemas LMS (*Learning Management System*) tais como Moodle (MOODLE, 2007) disponibilizam recursos de colaboração assíncronos tais como ambientes compartilhados para postagem de documentos, mas também oferecem ferramentas de colaboração síncrona como bate-papos. Atores podem colaborar quando fisicamente no mesmo espaço (colaboração local), ou quando em espaços físicos diferentes (colaboração remota) (ELLIS et al., 1991; FICHEMAN, 2002 b).

2.7 OS MEIOS ELETRÔNICOS INTERATIVOS E A IMERSÃO

Segundo Zuffo (2001a, p.11), a definição de Meios Eletrônicos Interativos, é o “acervo tecnológico orientado ao relacionamento sensitivo (audição, visão e tato) entre o usuário e uma infra-estrutura computacional”. Esta especialidade do Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo dedica-se à pesquisa, desenvolvimento, integração e transferência tecnológica de sistemas computacionais e de comunicação voltados a aplicações que explorem o relacionamento sensitivo com o usuário através de imagens (estáticas ou dinâmicas, gravadas ou geradas, estereoscópicas ou não, uni ou multi-projeção), sons e interação através de dispositivos táteis (com ou sem realimentação de forças), ou através da captura e análise de voz ou movimentos do usuário.

Imagens, sons, vídeos, animações, ambientes tridimensionais e simulações são exemplos de recursos tecnológicos que podem ser utilizados em ambientes de ensino-aprendizagem para facilitar a construção do conhecimento. Avanços tecnológicos como a Realidade Aumentada (RA), a Virtualidade Aumentada (VA) e a Realidade Virtual (RV), apresentadas por Milgram (1994) num contínuo que se estende do mundo real ao mundo virtual (Figura 5), podem enriquecer experiências de aprendizagem por serem fundamentalmente tecnologias imersivas e interativas.

Figura 5 – Contínuo entre Mundo Real e Mundo Virtual (MILGRAM et al., 1994)

A imersão em ambientes criados por computadores possibilita maior interação entre aprendizes e objetos de estudo, por permitir criar representações que proporcionam a sensação de estar imerso no ambiente criado por computador, fazendo parte do mesmo junto com o objeto em estudo (PINHO; KIRNER, 2001; TORI et al., 2006; FICHEMAN et al., 2006b; ASSIS et al., 2006, NOGUEIRA et al., 2006).

A Realidade Virtual (RV) é um conceito vasto e compreende três principais áreas: visualização, computação de alto desempenho e transmissão de dados em alta velocidade. Alguns autores definem elementos-chave de RV, tais como imersão (sensação de estar dentro de um ambiente virtual), interatividade (o ambiente deve reagir de acordo com a interação do usuário) e envolvimento (grau de engajamento do usuário em uma determinada aplicação) (SHERMAN; CRAIG, 2003). Outros autores descrevem a RV como sendo uma técnica avançada de interface, onde o usuário pode navegar e interagir em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador, estando completa ou parcialmente presente ou imerso pela sensação gerada por canais multi-sensoriais (visão, audição e tato) (ZUFFO, 2001a).

O uso da RV vem se difundindo também de forma muito rápida na Educação. A possibilidade de criação e visualização de imagens estereoscópicas e a manipulação interativa de modelos virtuais por meio do computador permitem às instituições de ensino realizar experiências para além das convencionais salas de aula. Esta expansão tecnológica impulsiona a Educação para novos rumos, enfatizando a utilização de novas ferramentas e propiciando uma evolução no processo de ensino-aprendizagem (FERREIRA, 2004).

Segundo Paulo Freire (1997), aprender é uma descoberta do novo, com abertura ao risco, à aventura e às novas experiências. Portanto, a Educação pode ser vista como um processo de descoberta, de exploração e de observação, além de eterna construção do conhecimento. Diante disso, a RV pode transformar o processo de ensino-aprendizagem num instrumento versátil e de grande eficácia. Como em

muitos outros domínios, inovação não significa, necessariamente, substituição do antigo pelo novo. A RV como forma de comunicação não substitui tecnologias existentes, mas as complementa (CAMPOS; SAMPAIO, 2005).

A RV permite extrapolar os limites de espaço-tempo, possibilitando, por exemplo, a exploração virtual de lugares que sejam muito pequenos para se explorar na vida real, como o interior de um átomo ou célula, ou expedições arqueológicas em cavernas repletas de labirintos e túneis estreitos, ou ainda lugares de extensão muito grande para que sejam visualizados como um todo, por exemplo percorrer toda a Muralha da China ou viajar pelo sistema solar. Outra possibilidade é a visitação a lugares distantes geograficamente como num teletransporte, ou até mesmo para tempos passados, onde a RV pode agir como uma espécie de máquina do tempo, permitindo uma visualização de determinados eventos históricos (DAINESE et al., 2003).

Segundo Vendruscolo, (2005), o uso da RV na Educação é uma boa alternativa para o ensino, pois expande os processos normais de aprendizagem, onde a criança é encorajada a participar de um processo criativo e divertido, explorando assuntos que nos métodos tradicionais levaria mais tempo para serem trabalhados.

No ensino formal, realizado em escolas ou empresas, na formação continuada, no ensino presencial ou a distância, os sistemas de RV podem constituir a forma mais adequada de apresentar conteúdos, adaptando-se às características específicas do tipo de ensino em que se inserem. Segundo Pinho e Kirner (2001), existem diversas razões para se usar a RV na Educação:

- Possibilitar maior motivação dos estudantes, pois apresenta novas formas de visualização dos conteúdos de aprendizagem;
- Ilustrar processos e objetos com maior precisão do que outras mídias;
- Promover uma análise da realidade visualizada sob diferentes ângulos;
- Permitir a visualização e exploração de lugares inexistentes ou de difícil acesso;
- Extrapolar o limite de aprendizagem, normalmente restrito ao período regular de aula, possibilitando a realização de atividades educacionais em outros locais e horários ou através da Internet;

- Oferecer possibilidades para estudantes portadores de deficiências, que não conseguiriam realizar determinadas atividades da forma convencional;
- Promover a aprendizagem cooperativa, no momento em que os ambientes virtuais podem ser concebidos de forma a estimular a aprendizagem compartilhada;
- Permitir que haja interação, estimulando a participação ativa do estudante.

A rápida expansão das pesquisas em RV na década de 90 motivou os pesquisadores do Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI) da Escola Politécnica da Universidade da São Paulo (EPUSP) a desenvolver e construir um sistema denominado CAVERNA Digital (Zuffo, 2001b). Trata-se de um complexo sistema de RV de alta resolução que possibilita ao usuário interagir num mundo sintético tridimensional completamente simulado por computadores. Neste tipo de sistema a interatividade é alta, uma vez que ele é constituído de cinco telas que formam um cubo por onde são projetadas as imagens estereoscópicas, além de fazer uso de interfaces que estimulam o som e o tato (ZUFFO, 2001a).

Apesar da inserção tecnológica em quase todas as áreas profissionais, a CAVERNA Digital ainda é pouco acessível por entidades educacionais, pois as dificuldades de implementação ocorrem devido ao alto custo, fator ainda determinante. Infelizmente, as tecnologias de hardware e software ideais para este tipo de função são dispendiosos e apenas grandes instituições as possuem. Isto motivou a criação de uma Gruta Digital itinerante, de baixo custo, sistema inspirado na CAVERNA Digital, mas que pode ser transportado até instituições de ensino e ampliar o acesso às tecnologias de RV. A Gruta Digital é uma versão reduzida da CAVERNA Digital, que possui uma tela de 5 metros de largura por 4 metros de altura para projeção de imagens estereoscópicas, amplificadores de áudio e óculos para visualização das imagens estereoscópicas (FICHEMAN et al., 2006a; LOPES et al., 2006).

A RA como a RV é uma tecnologia imersiva e pode ser definida como o enriquecimento do ambiente real com objetos virtuais em tempo real. (AZUMA, 1997). O avanço do poder computacional alcançado na última década permite integrar em tempo real vídeo e ambientes virtuais interativos. A RA enriquece o ambiente físico com objetos virtuais, se beneficia deste progresso, e torna viável aplicações que utilizam esta tecnologia (TORI et al., 2006).

Experiências de aprendizagem ocorrem quando estudantes e professores interagem entre si e quando estudantes interagem com o objeto de estudo. Técnicas de RA podem ser utilizadas para enriquecer experiências de aprendizagem, pois esta tecnologia apresenta novas formas de visualizar, comunicar e interagir com pessoas e informação e, portanto, ajudam a formalização de idéias (TORI et al., 2006).

Exemplos de implementação e utilização de RA na Educação têm sido apresentados na literatura e algumas têm se transformado em produtos. O MagicBook, apresentado por Billinghurst et al. (2001) é uma interface de realidade mista que utiliza um livro real para transportar o usuário entre os mundos real e virtual. Mundos virtuais são acrescentados às páginas reais do livro, e quando usuários encontram uma cena de seu interesse em RA podem explorar e navegar no mundo virtual.

Outro exemplo de aplicação da tecnologia de RA na Educação é uma ferramenta de construção tridimensional que foi desenvolvida para aprimorar a aprendizagem de Matemática e Geometria. Construct3D é um sistema de RA móvel colaborativo que melhora as habilidades espaciais, suporta interações professor-estudante, e pode ser utilizado com alunos de colégios de ensino médio e universidades (KAUFMANN; SCHMALSTIEG, 2003). Testes com estudantes demonstraram que a vantagem principal da utilização de RA é que os estudantes visualizam objetos tridimensionais anteriormente calculados e construídos com métodos tradicionais. Outra vantagem é que em sistemas de RA colaborativos, múltiplos usuários podem visualizar um espaço compartilhado sem perder a referência do mundo real (KAUFMANN, 2003).

Outro exemplo de aplicação educacional é a Lupa apresentada por Billinghurst et al. (2005). Este sistema apresenta uma interface tangível que adota a metáfora da lupa, onde o usuário pode segurar e mover uma interface tangível que está registrada ao objeto virtual, e assim visualizar objetos virtuais sobrepostos ao mundo real, como o globo terrestre.

Alguns dos exemplos citados acima têm sido testados com estudantes e demonstraram resultados efetivos na aprendizagem dos mesmos (KAUFMANN; SCHMALSTIEG, 2003; KAUFMANN, 2003). A maioria dos exemplos ainda utiliza tecnologia de custo elevado. Em geral, isto limita o acesso da população a estes recursos e, em particular, a escolas públicas nos países em desenvolvimento.

A RV e a RA são tecnologias que podem potencializar experiências de aprendizagem por serem imersivas e interativas. A imersão não se limita apenas ao estímulo visual, pois a evolução das tecnologias de áudio permite também a inserção de som espacial nas aplicações. Canais de áudio ligados a caixas de som fazem chegar até os ouvidos sons ligeiramente diferentes. Estes sons são processados pelo cérebro, provendo uma sensação de imersão no ambiente onde os sons foram originados (SISCOUTTO et al., 2004). Esta sensação de imersão é aumentada quando se usa técnicas de sons espacializados e sistemas de áudio 5.1 (AUGUSTO et al., 2006).

Outra forma de proporcionar a sensação de imersão é estimulando o tato do usuário. Isto pode ser alcançado ao utilizar equipamentos que geram realimentação de força, como em volantes de simuladores de corrida (AUGUSTO et al., 2006), ou haptics em sistemas de treinamento de profissionais da área de saúde (MACHADO et al., 2001; SOUZA, 2007).

Ambientes digitais imersivos têm se popularizado com os videogames. Muitos jovens passam horas jogando em ambientes virtuais. Jogos provêem ambientes multi-sensoriais. Os jogadores se sentem imersos nos ambientes virtuais, e para alguns pesquisadores são considerados um meio de aprendizagem da nova geração de aprendizes (OBLINGER, 2004; PRENSKY, 2003; GEE, 2003; EDUCAUSE, 2006). Em jogos digitais, amplamente adotados pela nova geração de aprendizes, os jogadores se envolvem em ações a distância, controlando objetos e avatares, criando a sensação de estar fisicamente transportados para o mundo virtual do jogo. Esta sensação é altamente motivadora e é reforçada quando o jogador manipula um avatar e toma decisões que o impactam (GEE, 2003).

2.8 A ERA DA MOBILIDADE

Anualmente surgem novas plataformas interativas. Estas novas tecnologias são rapidamente assimiladas. Algumas, como *videogames*, são desenvolvidas especificamente para uma faixa etária de usuários, e outras como PDAs e telefones

celulares são para uso geral. Em alguns casos, plataformas interativas digitais são especialmente desenvolvidas para uso em atividades de aprendizagem. É o caso do XO da ONG OLPC (*One Laptop per Child*) (XO, 2007), do Classmate da Intel (CLASSMATE, 2007), e do Mobilis da Encore (MOBILIS, 2007), plataformas móveis de baixo custo desenvolvidas para uso educacional. Os equipamentos sem fio, sejam eles telefones celulares, PDAs, laptops convencionais ou laptops de baixo custo, e as tecnologias de rede sem fio são amplamente difundidas e incorporadas ao dia-a-dia. Estas tecnologias trazem mobilidade aos usuários, permitindo o acesso a informações e a comunicação de qualquer lugar e a qualquer momento.

A mobilidade propiciada pela tecnologia sem fio - inicialmente inserida em contextos de comunicação e ambientes de trabalho - tem sido pesquisada com o objetivo de inseri-la em ambientes educacionais (SHARPLES et al., 2002; NAISMITH et al., 2004; VAVOULA et al., 2004; XO, 2007; FICHEMAN et al., 2008a; FICHEMAN; LOPES, 2008b; MARTINAZZO et al., 2008). A aprendizagem móvel tem diferentes significados para comunidades diferentes e foca na aprendizagem em diferentes contextos e na aprendizagem com equipamento móvel. O termo engloba a aprendizagem com tecnologias móveis, quando o foco está na tecnologia em si, a aprendizagem em contextos diferentes, quando o foco está na mobilidade do aprendiz interagindo com tecnologias móveis ou fixas, e a aprendizagem em uma sociedade móvel, que se concentra no estudo de como sociedades e instituições podem acomodar e apoiar a aprendizagem de populações continuamente móveis.

Definições iniciais de aprendizagem móvel concentravam-se na mobilidade da tecnologia, e a definiam como *e-learning* por meio de equipamentos computacionais móveis: PDAs, *Pocket PCs*, e até telefones celulares (QUINN, 2000). Recentemente, definições de aprendizagem móvel têm migrado seu foco da mobilidade do equipamento para a mobilidade do aprendiz (SHARPLES et al., 2007a; NAISMITH et al., 2004; VAVOULA et al., 2004). Desta forma, pesquisas em aprendizagem móvel têm seu foco no estudo do impacto de tecnologias pessoais e públicas nos aprendizes e na contribuição destas tecnologias ao processo de desenvolvimento de habilidades e experiências. Esta mudança de ênfase, da mobilidade da tecnologia para a mobilidade do aprendiz, significa segundo Sharples et al. (2007a) uma visão mais ampla das diferentes dimensões de mobilidade que impactam na

aprendizagem e são aspectos distintos da mobilidade: no espaço físico, no espaço conceitual, no espaço social e a mobilidade da tecnologia.

A mobilidade no espaço físico se refere à exploração das implicações da mobilidade do aprendiz em relação a como o espaço físico pode contribuir para novas experiências de aprendizagem. Espaços físicos podem ser, entre outros, ambientes formais e informais, inclusive a própria casa e espaços de lazer.

A mobilidade do aprendiz no espaço virtual compreende a mobilidade entre conteúdos diversos, tais como conteúdos de domínio específico, conteúdos curriculares escolares, conteúdos relacionados ao lazer e conteúdos gerados por interesse próprio.

A mobilidade, no que tange a espaços sociais, engloba a mobilidade do aprendiz entre situações formais e informais de aprendizagem, situações profissionais, familiares e de lazer.

Quanto a mobilidade da tecnologia em si, do ponto de vista do aprendiz, esta se refere a como o aprendiz transita e alterna entre um equipamento e outro para executar tarefas. A transição de uma tecnologia para outra pode ser provocada por acesso ou não a um equipamento específico ou por adequação do mesmo à tarefa pretendida.

Uma classificação de tecnologias de hardware tem sido apresentada por (NAISMITH et al, 2004) e estende-se em dois eixos: pessoal-compartilhado e portátil-estático (Figura 6). Esta classificação permite entender como a mobilidade da plataforma, a mobilidade do aprendiz e o compartilhamento do equipamento afetam diferentes aspectos de experiências de aprendizagem.

Figura 6 - Classificação de tecnologias de hardware (NAISMITH et al., 2004)

O quadrante 1 corresponde a equipamentos que podem ser classificados como portáteis e pessoais, tais como: telefones celulares, PDAs, *laptops* e até *consoles* de *videogame* portáteis. Estes equipamentos são concebidos para serem utilizados por um único usuário, por isso são considerados pessoais. No entanto, a disponibilidade de tecnologias de rede permitem o compartilhamento de informações e a comunicação. Estes equipamentos são considerados portáteis porque podem ser levados de um lugar para outro (NAISMITH et al., 2004).

Outras tecnologias menos portáteis que telefones celulares podem ainda oferecer interações pessoais em experiências de aprendizagem. Sistemas interativos para salas de aula - indicados no quadrante 2 - consistem em equipamentos individuais de alunos utilizados para, por exemplo, responder a perguntas de múltipla escolha postadas pelo professor em um servidor central. Esta tecnologia é estática no sentido que só pode ser utilizada em um local fixo, mas é pessoal pois os alunos utilizam equipamentos no modelo 1-para-1 (NAISMITH et al., 2004).

A aprendizagem móvel não ocorre somente quando o equipamento é móvel. No quadrante 3 há exemplos de tecnologias que provêm experiências de aprendizagem para aprendizes móveis. Quiosques colocados em espaços públicos e sistemas interativos de museus são instalações que oferecem acesso pervasivo a

informações e experiências de aprendizagem e, neste caso, a mobilidade está no aprendiz e não na tecnologia em si. Estas tecnologias costumam ser menos pessoais, e por elas terem geralmente tamanho grande (em museus por exemplo) são desenvolvidas para interação conjunta de múltiplos usuários. São denominadas tecnologias portáteis compartilhadas (NAISMITH et al., 2004).

Para prover interações compartilhadas, os equipamentos se tornam maiores e portanto menos portáteis, como por exemplo em sistemas de videoconferência ou lousas eletrônicas que se encontram no quadrante 4. Estas tecnologias foram incluídas na classificação para mostrar o espectro completo de possibilidades mas elas não seriam normalmente classificadas como tecnologias móveis. Os autores do estudo acreditam que a mobilidade das tecnologias de hardware incluem todos os equipamentos do quadrante 1-3 e aqueles do quadrante 4 que não estão no extremo da dimensão estática (NAISMITH et al., 2004).

2.9 O USO DE MODELOS

A modelagem é uma atividade central à criação de uma aplicação ou de um sistema, e se repete ao longo de seu desenvolvimento, pois permite visualizar o seu funcionamento, especificar sua estrutura e seu comportamento. Modelos construídos para entender sistemas são uma simplificação da realidade e são guias que nos conduzem ao longo da construção de um sistema e documentam decisões tomadas (BOOCH et al., 1998). Modelos são atualizados e refinados ao longo do processo, e servem de base em discussões entre usuários, mantenedores e desenvolvedores com o objetivo de averiguar se todos os aspectos e pontos de vista foram abordados.

O uso de um modelo antes da codificação propriamente dita permite verificar se as funcionalidades de um sistema são corretas e se todas foram contempladas. Na fase de concepção de um projeto, durante a análise de requisitos, por exemplo, um modelo permite confirmar se todas as necessidades dos usuários finais foram

atendidas, pois o modelo serve para comunicação efetiva entre os envolvidos no projeto: cliente, usuários e equipe de desenvolvimento.

Modelos facilitam a comunicação entre cientistas e podem ser verbais, gráficos, diagramas, e também modelos físicos ou quantitativos. Numa mesma disciplina, cientistas individuais ou grupos de cientistas utilizam modelos para esclarecer pressupostos e estruturas que influenciam um sistema, e em pesquisas interdisciplinares revelam os pressupostos de cada disciplina, as estruturas compartilhadas entre as disciplinas, bem como as estruturas contraditórias. Portanto, a comunicação entre disciplinas pode resultar em novos modelos, apropriados para trabalhos interdisciplinares e para esclarecimentos de terminologia e parâmetros (PICKETT; CADENASSO, 2002). Modelos permitem trabalhar em diferentes níveis de abstração, podem esconder detalhes, mostrar visões mais amplas ou mesmo focar em aspectos específicos de um sistema. Um modelo ajuda na descrição de uma idéia ou de um sistema, na visualização de características próprias, e é fundamental na elaboração da estrutura de um projeto.

Zuffo (2001a) apresentou um modelo, baseado num paralelogramo, para representar a definição de Meios Eletrônicos Interativos (interior do paralelogramo) e sua ligação com a RV (Figura 7). Nesta representação três eixos: imersão, realismo e interação mostram grandes tendências, e a seta, na diagonal, dá a direção na qual a RV busca caminhar.

Figura 7 - Meios Eletrônicos Interativos e Realidade Virtual (ZUFFO, 2001)

Em Educação Musical, outro exemplo, Swanwick sugeriu o modelo espiral para representar o desenvolvimento musical de um aprendiz (SWANWICK; TILLMAN, 1986). A Teoria Espiral (Figura 8) estabelece uma seqüência de desenvolvimento musical, a qual descreve a trajetória de como um indivíduo desenvolve o seu conhecimento dentro de uma estrutura de quatro dimensões de criticismo musical, sendo elas Materiais, Expressão, Forma e Valor (HENTSCHKE, 1993).

Figura 8 - Modelo Espiral de Desenvolvimento Musical (SWANWICK; TILLMAN, 1986)

Freqüentemente, modelos vêm de uma área de conhecimento e são aplicados a outra área de conhecimento (Geometria e Meios Eletrônicos Interativos) (Figura 7). A construção de modelos teóricos tem sido usada em diferentes áreas tais como Matemática, Física ou Biologia, mas os modelos mantinham-se dentro dos limites de cada uma destas áreas. Hoje, muitas vezes, a modelagem de sistemas naturais ou artificiais é uma atividade interdisciplinar, o que resulta em modelos com maior poder de previsão teórica e maior proximidade de dados experimentais (GOMES, 2000). A Biologia tem sido uma grande fonte de inspiração e tem trazido modelos para o mundo digital. Para Resnick, a percepção popular de computadores os coloca em oposto ao mundo natural, mas é possível que computadores possam lidar com amplas aplicações e estratégias do mundo natural (RESNICK, 2003). Algoritmos

genéticos e vida artificial são exemplos de áreas de pesquisa que mesclam computação e modelos biológicos (NETTO, 2001).

A abordagem que liga o mundo digital da computação à Biologia é uma tendência mundial (IFIP, 2008). O ecossistema digital é um paradigma emergente para inovação tecnológica e econômica, e consiste em uma infra-estrutura digital auto-organizada, destinada a criar um ambiente digital para organizações em rede, suportando a cooperação, o compartilhamento do conhecimento e o desenvolvimento de tecnologias abertas e adaptativas para ambientes ricos em domínio do conhecimento. Ecossistemas digitais capturam a essência da comunidade ecológica da natureza, onde organismos biológicos formam ecossistemas dinâmicos e complexos, em analogia com organismos econômicos (como unidades de negócio) ou digitais (como aplicações ou serviços) (DEST, 2007; DIGITAL ECOSYSTEMS, 2007).

2.10 CONCLUSÃO

Este capítulo apresentou conceitos básicos de alguns aspectos que serviram de fundamentação teórica deste trabalho. Foram abordados aspectos computacionais como análise de requisitos, aprendizagem apoiada por tecnologias digitais, colaboração apoiada por computador, realidade virtual e aumentada e tecnologias móveis. O capítulo descreveu também a mudança no contexto e perfil do novo aprendiz, assim como paradigmas educacionais centrados no aluno.

3 ECOSSISTEMAS

A comunidade científica tem buscado nos fenômenos biológicos um paralelo ao desenvolvimento e uso de ferramentas computacionais em geral e de TIC para Educação, em particular. Vida artificial e inteligência artificial são alguns exemplos de transposição de uma área de conhecimento, a Biologia e a Fisiologia, para outra, a Engenharia da Computação. Fenômenos ecológicos particularmente têm sido usados como fonte de inspiração para descrever, modelar ou entender ferramentas, ambientes ou acontecimentos que surgem do uso das TIC na Educação.

Este capítulo aborda inicialmente o conceito geral de ecossistemas a partir de sua definição vindo da Biologia. E, após ter explorado seus componentes, suas características e suas relações, descreve a forma com a qual este conceito pode ser utilizado (a definição, o modelo e a metáfora), para depois apresentar alguns relatos encontrados na literatura de uso de conceitos da Ecologia, de comunidades emergentes e de ecossistemas para a definição de Ecossistemas Digitais e Ecossistemas Digitais de Aprendizagem.

3.1 ECOLOGIA

De forma genérica, a Ecologia - do grego *OIKO (OIKO)*, que significa casa e *ΛΟΓΟΣ (LOGOS)*, ciência - trata do estudo da casa ou do lugar onde se vive. Mais especificamente, a Ecologia é a ciência que estuda as interações dos seres vivos entre si, incluindo plantas, animais, micróbios e seres humanos, com o meio ambiente (AMABIS; MARTHO, 2002). É uma ciência que enfatiza estudos holísticos, na qual o conjunto não é apenas a soma de todas as partes, mas sim as partes compõem o conjunto, sendo este o que determina o comportamento das partes (ODUM, 1985).

Os princípios básicos da Ecologia têm sido definidos ao longo de mais de um século de observação, experimentação e exploração teórica dos sistemas naturais. A Ecologia não só proporciona uma estrutura para interpretar a devastadora abundância de informações disponíveis na natureza, mas também fornece a compreensão necessária para prever as consequências das interações humanas com os sistemas naturais (RICKLEFS, 1996).

A ciência da Ecologia preocupa-se em estudar os padrões de inter-relações entre organismos e o meio ambiente onde estes vivem (MARTEN, 2001), e tem por princípio que não pode isolar um organismo ou um fator ambiental, mas que este deve ser tratado como parte de seu sistema ecológico, pois mudanças no organismo afetam o meio ambiente e vice-versa. Em um ambiente ecológico, as relações nunca são fixas, mas são fluidas e auto-organizadas, alterando-se em resposta às mudanças das condições ambientais. Um ambiente saudável é um ambiente que busca um equilíbrio face a estas mudanças. Adaptabilidade e flexibilidade são chaves para sua sobrevivência (RICKLEFS, 1996).

Ecólogos se preocupam com a forma com que os ambientes e os organismos interagem para criar a diversidade de comunidades biológicas que ocupam as diferentes regiões da Terra. Os ecólogos empregam muitos métodos para estudar a natureza: (1) observação e descrição, (2) desenvolvimento de hipóteses e explicações, (3) testes das hipóteses e (4) aplicação do conhecimento geral para resolver problemas específicos (RICKLEFS, 1996).

3.2 ECOSISTEMAS BIOLÓGICOS

Do grego, *OIKOSYSTIMA*, um ecossistema é o sistema (*SYSTIMA*) ou regime que rege a casa (*OIKO*), e consiste de um conjunto de fatores bióticos compreendidos como comunidades de organismos, sejam eles plantas, animais ou microorganismos, e de fatores abióticos, como água, clima, temperatura e nutrientes que interagem e atuam em sinergia sobre uma determinada região (CHRISTOPHERSON, 1997).

A comunidade depende, para se manter, de fatores não-vivos denominados fatores abióticos, representados pelos componentes físicos e químicos do ambiente. Em seu conjunto, esses fatores constituem o biótopo (do grego, *BIOΣ*, vida, e *TOΠOΣ*, lugar - que significa o local onde vive a comunidade). Os fatores abióticos do biótopo afetam diretamente a comunidade e são também por ela influenciados (AMABIS; MARTHO, 2002). Biótico (do grego *BIOTIKOΣ*) diz-se dos fatores ligados à atividade dos seres vivos e que agem sobre a distribuição das espécies animais e vegetais de um determinado biótopo (LAROUSSE, 1995).

Um ecossistema é um sistema formado por um biótopo e pelo conjunto das espécies que nele vivem, se alimentam e se reproduzem (LAROUSSE, 1995), ou seja, é um conjunto formado pela comunidade e pelo biótopo em interação e tem características próprias e relativa estabilidade (AMABIS; MARTHO, 2002).

A definição básica de ecossistema articulada inicialmente em 1935 por Arthur Tansley definiu um ecossistema como uma comunidade biótica e seu ambiente físico associado, localizado em um espaço específico. E, para enfatizar as conexões entre componentes bióticos e abióticos, escolheu um termo da Física: “sistema”, para realçar as interações. Devido à complexidade dos próprios componentes, nos quais há interações, a definição básica implica uma estrutura aninhada hierárquica: um ecossistema pode comportar outros ecossistemas. Outra característica importante de um ecossistema é o seu tamanho que pode ser desde microscópico até macroscópico, desde que caibam nele os organismos, o ambiente físico e suas interações. Ecossistemas são sistemas complexos que podem existir por pouco tempo ou serem persistentes. E, todas as instâncias de ecossistemas devem ter uma extensão espacial definida e limitada. Um ecossistema é considerado equilibrado, quando tende a um único estado de equilíbrio, e é chamado de não equilibrado, quando ele tende a vários equilíbrios. Isto ocorre quando não existe uma coerência harmônica entre os componentes do sistema, e precisa, para tentar atingir o equilíbrio, de ajustes independentes que participam em conjunto. (PICKETT; CADENASSO, 2002).

O conceito de ecossistema introduzido por A. G. Tansley, considera os animais e as plantas em grupos, junto com os fatores físicos dos seus arredores, como um sistema ecológico fundamental. Tansley visualizou as partes físicas e biológicas juntas, unificadas pela dependência dos animais e das plantas de sua vizinhança

física e de sua contribuição à manutenção da mesma. Já o químico A.J. Lodtka tratou as populações e as comunidades como sistemas termodinâmicos, defendendo que cada sistema deve ser representado por um conjunto de equações que governam as transformações de massa entre seus componentes. (RICKLEFS, 1996)

Organismos e seus ambientes físicos e químicos formam um ecossistema. Ao longo de suas vidas, os organismos transformam energia e processam materiais de diversas maneiras, à medida que eles os metabolizam, crescem e se reproduzem. Desta forma, os organismos modificam as condições do ambiente e a quantidade de recursos disponíveis para outros organismos, contribuindo para os fluxos de energia e a reciclagem de elementos. A abordagem de ecossistemas descreve os organismos como pacotes de energia e de elementos químicos permitindo o estudo da transmissão de energia e do ciclo dos elementos dentro dos sistemas ecológicos (RICKLEFS, 1996).

Um ecossistema é tudo que existe em uma área específica: o ar, o solo, a água, os organismos vivos e as estruturas físicas, incluindo tudo que foi construído pelos seres humanos. As partes vivas de um ecossistema, microorganismos, plantas e animais (incluindo seres humanos) são sua comunidade biológica. Espécies sobrevivem em um ecossistema pois elas convivem de tal forma que o ecossistema provê os recursos necessários para cada uma delas. Isto ocorre por meio de processos como a reciclagem de materiais e de nutrientes e o fluxo de energia (MARTEN, 2001). Ecossistemas podem ainda incluir seres humanos, seus processos e suas estruturas (PICKETT; CADENASSO, 2002).

Sistemas ecológicos seguem alguns princípios gerais: funcionam de acordo com as leis da termodinâmica dentro de seus limites, isto significa que o meio ambiente físico exerce uma influência controladora na sua produtividade. A estrutura e a dinâmica das comunidades ecológicas são reguladas pelos processos populacionais. Ao longo das gerações, os organismos respondem às mudanças no meio ambiente por meio da adaptação das populações (RICKLEFS, 1996).

Ecossistemas são sistemas complexos que incorporam processos auto-organizacionais. Um dos seus processos de organização é a cadeia alimentar que inter-relaciona a transferência do fluxo energético de suas populações biológicas.

O conceito de ecossistema tem como idéia principal a unidade entre os organismos (ODUM, 1969). Ainda há outras características fundamentais dos ecossistemas:

- 1) possuem limites espaço-temporais;
- 2) seus fatores e componentes se influenciam mutuamente;
- 3) são sistemas abertos com entradas e saídas constante de componentes (como por exemplo a luz solar ou as emigrações);
- 4) apresentam capacidade de resistir ou adaptar-se a distúrbios (ODUM, 1985; ANGELINI, 1999).

Um conceito fundamental na Ecologia que permite o estudo holístico tanto de partes como do todo é a hierarquia, uma organização em compartimentos graduados. Um ecossistema é o mais alto nível da hierarquia; é completo com todos os componentes necessários para seu funcionamento e sobrevivência ao longo do tempo. Ecossistemas podem ter qualquer tamanho e são também organizados através de hierarquia de espaço, podendo conter um conjunto de ecossistemas menores (MARTEN, 2001).

Algumas características de ecossistemas naturais são: a auto-organização, a auto-suficiência e a auto-sustentabilidade. Os ecossistemas sobrevivem apenas com entradas naturais tais como luz solar e água. A maioria das entradas e saídas dos ecossistemas consiste em trocas com ecossistemas adjacentes, quando materiais que contêm energia e informação são transportados pelo vento, pela água, pela gravidade ou por animais. Entradas e saídas são pequenas, pois a maioria dos ecossistemas naturais desenvolvem mecanismos para manter internamente os materiais de que necessitam. Os ecossistemas, por exemplo, previnem a perda de solo por erosão ao cobrir o solo com grama ou folhas. (MARTEN, 2001).

Homeostasia - do grego *HOMOIOΣ*, semelhante, e *ΣΤΑΤΙΣ*, situação - é a tendência para a estabilidade no meio interno de um ser vivo, a manutenção de suas condições fisiológicas. A homeostasia de um ecossistema é sua capacidade de buscar um equilíbrio interno, fenômeno chave da Ecologia (ODUM, 1985). Por meio desta característica, se não há alterações externas severas, um ecossistema mantém sua comunidade biológica e seu ambiente físico funcionando. E, se algo

ocorre com uma população particular, a abundância de outras espécies com a mesma função aumenta e a função continua. O estado do ecossistema pode flutuar com o passar do tempo, mas usualmente permanece estável. Ecossistemas se organizam por meio da co-adaptação e da organização das comunidades de tal forma que continua funcionando como um todo de maneira sustentável (MARTEN, 2001).

3.2.1 Níveis de Organização

Organismos, populações, comunidades e ecossistemas representam níveis de organização da estrutura, do funcionamento e das inter-relações ecológicas. Eles formam uma hierarquia de entidades progressivamente mais complexas. (RICKLEFS, 1996).

Os membros de uma mesma espécie constituem populações biológicas. Por sua vez, populações de diferentes espécies que convivem em uma determinada região constituem uma comunidade biológica.

Em um ecossistema há ainda níveis de organização, nos quais se consideram uma série de entidades, agrupadas em ordem crescente de complexidade: espécies, populações, comunidades e ecossistemas (Figura 9). Uma comunidade é um conjunto de populações de diferentes espécies.

Figura 9 - Níveis de Organização (EDUCAR, 2008)

Em um ecossistema, a vida existe em diferentes níveis de complexidade organizacional. É possível estudar relações entre organismos e meio ambiente de diferentes tamanhos, desde bactérias microscópicas até interações complexas de

um leque de espécies de plantas, animais e de outras formas de vida encontradas em um ambiente (LOOI, 2001).

3.2.2 Populações

Muitos organismos da mesma espécie juntos constituem uma população. As populações diferem dos organismos pois elas são potencialmente imortais, sendo seus tamanhos mantidos através dos tempos pelo nascimento de novos indivíduos que repõem aqueles que morrem. As populações têm propriedades coletivas, tais como fronteiras geográficas, densidade, e propriedades dinâmicas que não são exibidas por organismos individuais. A abordagem da população na Ecologia se preocupa com o tamanho das populações e suas mudanças através do tempo (RICKLEFS, 1996).

3.2.3 Comunidades

Cada população tem propriedades subjacentes que controlam o seu crescimento e são sensíveis às condições físicas, aos recursos alimentares e aos inimigos no meio ambiente. Estas relações ligam a dinâmica de qualquer população à das outras espécies, criando uma comunidade biológica que consiste de populações de diferentes espécies vivendo no mesmo lugar. As populações dentro de uma comunidade interagem de várias formas, como por exemplo numa relação presa-predador ou em associações simbióticas como as abelhas e as flores que chegam a acordos cooperativos, denominados mutualismos, nos quais ambas as partes se beneficiam da interação. Todas as interações influenciam a dinâmica das populações ou taxa de mudança na quantidade de indivíduos das mesmas. Comunidades não têm fronteiras definidas, mas são uma abstração que representa um nível de organização (RICKLEFS, 1996).

3.2.4 Espécies

Em muitas comunidades naturais, algumas espécies são comumente denominadas *dominantes* (com abundância numérica de indivíduos), enquanto um grande número de espécies é *rara*. As espécies raras podem ser tão importantes quanto as espécies *dominantes*. As espécies mais importantes de um ecossistema são as espécies *chaves* (*keystone*), e não são necessariamente espécies dominantes, pois elas podem não ser abundantes mas exercem uma influência controladora no sistema (ODUM, 1985).

Em um ecossistema, o processo de interação entre espécies é dinâmico, quando as espécies co-evoluem e se adaptam umas às outras (ZHAO; FRANK, 2003).

3.2.5 Habitat

O **habitat** corresponde ao espaço físico e a estrutura do meio ambiente (fatores abióticos) no qual vivem populações de uma ou mais espécies. Esse conceito realça a estrutura do lugar e das condições ambientais e como ele é percebido por cada tipo de ser vivo. As interações entre populações dentro dos *habitat* também promovem diversificação local das espécies (RICKLEFS, 1996).

Uma espécie deve ter um habitat ou um lugar onde a espécie vive e um **nicho** (o modo de vida da espécie no sistema físico e ambiental). Os componentes bióticos de um ecossistema pertencem a diferentes espécies, cada qual com sua função (*nicho*) e ocupando seu *habitat* (ODUM, 1985). O *nicho* ecológico de uma espécie é o conjunto de relações e de atividades características de uma espécie em seu ambiente. Este engloba desde a maneira pela qual uma espécie se alimenta até suas condições de reprodução, tipo de moradia, hábitos, inimigos naturais, estratégias de sobrevivência (AMABIS; MARTHO, 2002). O *nicho* é a capacidade do organismo de ocupar seu *habitat* e, de acordo com a amplitude de condições e de qualidade de recursos usados por ele, a capacidade da espécie cumprir sua função

no ecossistema. As comunidades tropicais diversas contêm uma maior variedade de *nichos* ecológicos, assim como um maior número de espécies, do que as comunidades temperadas (RICKLEFS, 1996).

3.2.6 Espécies exóticas

A introdução de novas espécies afeta, sejam elas intencionais ou não, o equilíbrio do ecossistema em diferentes graus. Uma espécie exótica pode interagir com uma ou mais espécies existentes. As propriedades da espécie exótica e das espécies existentes e os tipos de interação podem resultar em diferentes consequências:

- (a) a espécie exótica ganha e elimina as espécies existentes, tornando-se invasora;
- (b) ambas ganham e sobrevivem, neste caso às vezes outras espécies desaparecem ou o ecossistema deixa de funcionar por ter chegado ao seu limite de capacidade;
- (c) a espécie exótica perde e desaparece; e
- (d) a espécie exótica e as espécies existentes passam por um processo de variação e seleção e adquirem novas propriedades (Zhao; Frank, 2003).

A introdução, a sobrevivência e a dispersão de uma espécie exótica em um novo ambiente são processos complexos. A compreensão destes processos requer uma abordagem sistêmica que considera a natureza das espécies, o ambiente, outras forças encontradas no ambiente e as interações entre estes componentes. (ZHAO; FRANK, 2003).

A introdução bem sucedida de uma espécie é o resultado de muitos fatores trabalhando em conjunto (ZHAO; FRANK, 2003).

Dois fatores afetam a população ou o bem-estar de espécies exóticas: (a) as qualidades das espécies, e (b) as interações com espécies existentes e com o ecossistema.

A sobrevivência de uma espécie exótica não depende apenas de suas características históricas mas também da compatibilidade destas características com o novo ambiente.

3.2.7 Interações em um ecossistema

Em um ecossistema podem ser observadas constantes interações entre espécies mas também interações entre membros da mesma espécie. Os padrões de interação entre espécies e intra-espécie são similares. Membros da mesma espécie podem competir ou cooperar entre si. Apesar de fundamentalmente egoístas, os seres podem exibir comportamentos cooperativos como no caso de animais que vivem em grupos. Algumas espécies ainda demonstram comportamentos opostos ao egoísmo como abelhas que morrem para proteger a colônia (RICKLEFS, 1996). Este comportamento observado em algumas espécies de animais e nos seres humanos é denominado altruísmo recíproco.

Competição é o uso de um recurso por um organismo que reduz a disponibilidade do mesmo para outros indivíduos. Desta forma, a competição é um mecanismo pelo qual as atividades dos indivíduos afetam o bem-estar dos outros, pertencentes à mesma espécie (competição intra-específica) ou a espécies diferentes (competição inter-específica) (RICKLEFS, 1996).

Um recurso pode ser definido como qualquer fator que pode ser utilizado pelo organismo e cujo aumento promove um crescimento populacional. Recursos podem ser classificados como não-renováveis (espaço por exemplo) ou renováveis (luz e alimento). A competição por recursos pode ser tratada matematicamente, quando esta é incorporada na equação para calcular a taxa de crescimento populacional da primeira espécie, com o uso de um coeficiente de competição que expressa o efeito dos indivíduos da segunda espécie na taxa de crescimento populacional da primeira (RICKLEFS, 1996).

3.2.8 Escalas espaciais e temporais

Processos e estruturas ecológicos têm dimensões de tempo e espaço características, denominadas por ecólogos de escalas.

Cada tipo de variação no meio ambiente tem uma dimensão ou escala temporal. As variações têm entre os dias e as noites, por exemplo, uma dimensão de 24 horas; as variações sazonais têm uma dimensão de 365 dias. A maneira como os organismos e as populações respondem às mudanças nos seus ambientes depende da variação temporal (RICKLEFS, 1996).

Em um ecossistema, dependendo dos acontecimentos em um momento particular, plantas e animais podem mudar sua forma de interação com outras espécies (MARTEN, 2001).

O meio ambiente difere também de lugar para lugar. Uma determinada dimensão de variação espacial pode ser importante para um animal e não para outro. E, um caso particular ocorre quando a variação espacial é percebida como uma variação temporal para um animal viajando através do meio.

As dimensões espaciais e temporais dos fenômenos ecologicamente importantes estão geralmente correlacionadas, como acontece no caso de tornados ou furacões por exemplo, pois a duração de um fenômeno usualmente cresce com o seu tamanho (RICKLEFS, 1996).

A importância de definir escalas espaciais e temporais ao modelar ecossistemas pode ser exemplificada com a modelagem de duas lagoas Iquipari e Grussaí, localizadas na região norte fluminense. As lagoas têm conexão com o mar, e permanecem fechadas por uma barreira de areia na maior parte do ano. A comunidade local abre a barreira em certos meses para evitar enchentes e para permitir a renovação dos peixes consumidos pelos moradores da região. Após a abertura da barreira, a dinâmica do ecossistema se altera muito até o próximo fechamento, havendo a necessidade de modelagem sistemática em função do tempo. O exemplo das lagoas Iquipari e Grussaí ilustra a idéia central do processo de modelagem de sistemas naturais: dado um ecossistema, estão sempre presentes parâmetros que variam em função do espaço e do tempo (GOMES, 2000).

3.2.9 Seleção natural e evolução

Os sistemas biológicos mudam através da modificação, ao longo das gerações, da estrutura e do funcionamento dos organismos dentro de cada população. A fixação das mudanças desses atributos da população ao longo dos tempos contribui com o processo de evolução. Essa evolução da estrutura e o funcionamento dos organismos é propiciada em resposta às características dos seus ambientes, os quais incluem as condições físicas que prevalecem e as diversas outras espécies de organismos com os quais cada população interage (RICKLEFS, 1996).

A seleção natural percebida primeiro por Charles Darwin ocorre somente por aqueles indivíduos que estão bem ajustados ao meio ambiente, sobrevivem e se reproduzem, possibilitando a perpetuação dos atributos adquiridos que são passados para os seus descendentes e, assim, preservados. A seleção natural expressa três propriedades da vida e suas relações com o meio ambiente:

- (1) a variação genética entre os indivíduos dentro das populações,
- (2) a herança dos atributos dos pais por reprodução e
- (3) a influência do meio ambiente na sobrevivência e na reprodução da população, o que define a eficiência (*fitness*) evolutiva do organismo (RICKLEFS, 1996).

3.2.10 Sucessão ecológica e estágios de maturidade

Sistemas ecológicos considerados unidades de organização biológica são constituídos de todos os organismos numa área determinada, interagindo com o meio físico de tal forma que o fluxo de energia leve a características tróficas (de relação energética) e ciclos de materiais dentro do sistema (ODUM, 1969).

Sucessão ecológica é definida como:

- um processo ordenado e previsível de desenvolvimento de uma comunidade;

- a seqüência do desenvolvimento ordenado resulta da modificação do meio físico pela comunidade;
- a estabilização de um ecossistema ocorre em função do máximo da biomassa e o papel simbiótico entre os organismos, os quais estão sustentados pela unidade de fluxo de energia disponível (ODUM, 1963).

Uma tabela de componentes elaborada por Odum (1969) relaciona os mesmos aos estágios de desenvolvimento de ecossistemas como forma de enfatizar os aspectos de sucessão ecológica. Em 1969, Odum definiu vinte e quatro atributos quantificáveis de ecossistemas ligados aos fluxos internos, ao controle de retroalimentação (*feedback*) e ao crescimento da diversidade (Tabela 3). Numa avaliação termodinâmica, estes atributos permitem medir o estágio de amadurecimento dos ecossistemas e de verificar o desempenho de cada componente (ANGELINI, 2002). Assim, o estado de amadurecimento de um ecossistema pode ser avaliado através das propriedades emergentes que apenas aparecem quando os componentes estão interligados.

Tabela 3 - Atributos da sucessão ecológica: tendências esperadas no desenvolvimento de ecossistemas

Atributos dos Ecossistemas	Em desenvolvimento	Maduros
Energia da Comunidade		
1 – Produção Total/Respiração	< 1 ou > 1	= 1
2 – Produção Total/Biomassa	Alta	Baixa
3 – Biomassa/Total de fluxos	Baixa	Alta
4 – Produção Líquida (rendimento)	Alta	Baixa
5 – Cadeia Trófica	Linear	Teia
Estrutura da Comunidade		
6 – Matéria Orgânica Total	Pequena	Grande
7 – Nutrientes Inorgânicos	Extra-biótico	Intra-biótico
8 – Diversidade (riqueza)	Baixo	Alto
9 – Diversidade (equitabilidade)	Baixo	Alto
10 – Diversidade Bioquímica	Baixo	Alto
11 – Estratificação	Pouco Organizado	Bem Organizado
História de Vida		
12 – Especialização de nicho	Ampla	Pouca
13 – Tamanho do Indivíduo	Pequeno	Grande
14 – Ciclos de vida	Curto, simples	Longo, complexo
Ciclos de Nutrientes		
15 – Ciclos de Minerais	Aberto	Fechado
16 – Troca de nutrientes	Rápida	Lenta
17 – Regeneração de nutrientes	Sem importância	Importante
Pressão de Seleção		
18 – Forma de crescimento	Crescimento rápido	Controle de <i>feedback</i>
19 – Produção	Quantidade	Qualidade
Homeostase Total		
20 – Simbiose interna	Não desenvolvida	Desenvolvida
21 – Conservação de nutrientes	Pobre	Boa
22 – Estabilidade	Pobre	Boa
23 – Entropia	Alta	Baixa
24 – Informação	Baixa	Alta

Fonte: ODUM, 1969

Odum (1969) apresentou também uma tabulação resumida (Tabela 4) em termos gerais que sugere a possibilidade de evidenciar o estágio de desenvolvimento de um ecossistema.

Tabela 4 - Características de Ecossistemas Jovens e Maduros

Jovem	Maduro
Produção	Proteção
Crescimento	Estabilidade
Quantidade	Qualidade

Fonte: ODUM, 1969

Na Tabela 4 proposta por Odum (1969), produção, crescimento e foco na quantidade qualificam um ecossistema jovem ou em desenvolvimento. Já proteção, estabilidade e foco na qualidade qualificam ecossistemas maduros. Segundo o autor é matematicamente impossível obter o máximo para mais do que um item ao mesmo tempo e no mesmo lugar. E, como as seis características apresentadas são desejáveis simultaneamente, o autor sugere duas soluções. A primeira consiste no compromisso de qualidade e desempenho moderados em toda área em questão, já a segunda propõe a divisão em compartimentos para o alcance simultâneo de alta qualidade, mas em unidades separadas sujeitas a estratégias diferentes. Entretanto, uma perturbação regular, mas aguda, imposta por um fator externo pode manter um ecossistema em algum ponto intermediário resultando no compromisso entre um estado jovem e um estado maduro.

O modelo tabular de desenvolvimento de ecossistema apresentado na Tabela 4 tem paralelo na sociedade, pois em uma sociedade pioneira, isto é em um ecossistema em desenvolvimento, a alta taxa de nascimento, o crescimento rápido, altos benefícios econômicos e a exploração de recursos são vantajosos, mas ao alcançarem o nível de saturação, estas direções devem mudar para o controle de nascimento e a reciclagem de recursos: um equilíbrio entre juventude e maturidade em um sistema sócio-ambiental (ODUM, 1969).

3.2.11 Propriedades emergentes

Por muito tempo, os problemas envolvendo a modelagem de sistemas naturais foram abordados por meio de métodos descritivos. Só mais recentemente foram introduzidas as abordagens explicativas. Assim, modelos de sistemas naturais passaram a incluir descrições dos processos envolvidos em sua dinâmica (GOMES, 2000).

Todos os seres vivos nascem, crescem, se desenvolvem e morrem. Isso é verdade para os organismos e para entidades sociais como empresas, comunidades econômicas e ecossistemas. Essas entidades são abstrações criadas para descrever fenômenos, e podem, se incluírem formas quantitativas, servir de base para o cálculo de taxas e previsões do comportamento destes sistemas. (ANGELINI, 2002)

Os ecossistemas crescem e se desenvolvem dentro das restrições termodinâmicas. E, uma das formas de medir seu estágio de amadurecimento é avaliar suas propriedades emergentes, que apesar de não realizarem trabalho no sentido físico, influenciam seu desenvolvimento. Estas não podem ser determinadas quando se estuda os compartimentos em separado (ANGELINI, 2002). Segundo Angelini (1999), as propriedades emergentes só adquirem sentido quando os componentes estão interligados, e a quantificação das mesmas é feita pelas funções meta que servem como indicadores de qualidade do ecossistema. As funções meta agem como indicadores de qualidade, constituindo as propriedades emergentes resultantes dos processos de auto-organização e determinando a direção do desenvolvimento (ANGELINI, 2002).

Angelini (1999) explica que há três diferentes conceitos para explicar o funcionamento dos ecossistemas: o conceito individualístico: as populações respondem independentemente ao ambiente externo, o conceito de superorganismo: o ecossistema é um organismo de alta ordem e pode ser desmontado sem ser destruído e a teoria hierárquica: os sistemas de alto nível têm propriedades emergentes que não ocorrem em componentes hierarquicamente inferiores.

Devido à complexidade dos ecossistemas, usa-se a análise de sistemas para a sua compreensão (ANGELINI, 1999) que consiste na modelagem matemática com a aplicação de métodos quantitativos. Um modelo matemático é a representação de um sistema ou processo, e pode servir de instrumento para a previsão de mudanças. Segundo Angelini (1999), modelos são “construídos para organizar a compreensão dos sistemas, avaliar os dados observados, fornecer o entendimento das ligações entre componentes, definir os problemas e fazer previsões”. Há três níveis hierárquicos para modelar um sistema: população, comunidade e ecossistema. O modelo que prevê o crescimento populacional é baseado numa equação diferencial:

$$\frac{dN_t}{dt} = r * N_t \quad \text{para } t=0 \text{ e } N_t=N_0$$

e cuja solução analítica é

$$N_t = N_0 * \lambda^t$$

onde:

N_t = número de indivíduos da população no instante t ;

N_0 = número inicial de indivíduos da população;

$\lambda = e^r$ = razão finita do aumento populacional;

r = razão intrínseca ($r = b-d$, onde b é a taxa de nascimento e d é a taxa de mortalidade).

Segundo esta equação, a população crescerá de forma geométrica e superará a oferta de alimentos que só pode aumentar em escala aritmética. Porém, devido às imposições do ambiente como escassez de espaço e/ou alimento, as populações não crescem indefinidamente e, desta forma, a equação foi modificada para incluir o número máximo de indivíduos que uma população pode conter. Outros modelos matemáticos foram criados ao longo do tempo e cujo objetivo é representar de forma abstrata o comportamento de ecossistemas (ANGELINI, 1999).

3.2.12 Uso de modelos e simulação

A modelagem de ecossistemas é uma modelagem teórica eminentemente multidisciplinar, pois reúne profissionais de várias disciplinas como a Biologia, a Física e a Química, cada uma focando em determinados aspectos dos muitos processos observados em ecossistemas. Assim, ao incluir métodos explicativos oriundos da Física e da Química, os ecossistemas passaram a ter também as descrições dos processos envolvidos em sua dinâmica. Estes métodos permitem propor mecanismos para explicar características da dinâmica dos sistemas modelados e envolvem parâmetros cuja influência sobre o comportamento do sistema pode ser investigada (GOMES, 2007).

O aumento do interesse em criar soluções sustentáveis para problemas ambientais e econômicos provocou a demanda de métodos de previsão de resultados e conseqüências na tomada de decisões. Quando estudos longos ou manipulações experimentais não são possíveis, caso de sistemas ecológicos ou econômicos complexos, modelos representativos podem ajudar. Em muitas situações, modelos relativamente simples podem ajudar a analisar o que está acontecendo ou podem simular situações futuras (CONSTANZA; GOTTLIEB, 1998).

Modelos são utilizados por cientistas para entender, avaliar ou otimizar sistemas, e em ambientes educacionais os modelos são utilizados para facilitar a aprendizagem, especialmente quando se trata de sistemas dinâmicos. Nestes casos, professores enfrentam o desafio de preparar atividades para, não apenas ajudar seus alunos a entenderem a forma de sistemas, mas também para compreender como eles funcionam e se modificam. Uma abordagem é auxiliar os aprendizes a expressar e construir seus próprios entendimentos de comportamento de sistemas por meio de atividades de modelagem apoiadas por computador, fomentando a aprendizagem orientada à descoberta (RILEY, 1990).

Ecossistemas são sistemas dinâmicos e complexos dos quais a quantificação pode ser auxiliada com o uso de programas como *STELLA* e *ECOPATH* que vêm recebendo destaque na elaboração de modelos, tanto para uso em pesquisa científica (ANGELINI, 1999), quanto para apoiar a aprendizagem (RILEY, 1990).

Muitos modelos dinâmicos procuram medir o ajuste das espécies nos ecossistemas para saber quais são as mais adaptadas e que suportariam mudanças futuras. Esta quantificação é realizada através de uma função meta denominada exergia, que é a quantidade de energia livre que o sistema está pronto para transferir ao ambiente (ANGELINI, 1999).

O simulador *ECOPATH* é um pacote de aplicações para a modelagem e simulação de ecossistemas aquáticos, e inclui alguns programas como o próprio *ECOPATH* para uma representação estática do sistema, *ECOSIM*, uma simulação dinâmica ao longo do tempo para exploração de políticas, e *ECOSPACE*, um módulo dinâmico espacial e temporal para a exploração do impacto e localização de áreas protegidas (ECOPATH, 2008). O conjunto de programas permite estimar a biomassa e o consumo de vários elementos de um ecossistema aquático e analisar fluxos entre os elementos do mesmo, mas também permite construir modelos em estado de equilíbrio. A equação básica do modelo *ECOPATH* é a de um sistema balanceado, sob condições de equilíbrio que ocorre quando a biomassa média anual para cada espécie não varia de ano para ano ou se a soma das interações entre os componentes for maior que as interações do sistema com o meio externo (ANGELINI, 1999).

Já simuladores como *STELLA* (*Structured Thinking Experimental Learning Laboratory*) muito usados em ambientes educacionais são recomendados para simular o comportamento de um ecossistema ao longo do tempo, a fim de diminuir a distância entre teoria e mundo real, permitir que estudantes usem sua criatividade para alterar sistemas, evidenciar as relações e prover uma imagem holística, comunicar entradas e saídas e demonstrar conseqüências (STELLA, 2008). Este simulador pode ser usado, por exemplo, para modelar a competição entre diferentes espécies para recursos limitados ou reações químicas de enzimas (SHIFLET, 2002).

STELLA é um simulador apresentado na forma de uma linguagem de programação orientada a objetos que utiliza uma interface iconográfica para facilitar a construção de estruturas de sistemas dinâmicos (CONSTANZA; GOTTLIEB, 1998). O programa provê um ambiente para modelagem de sistemas dinâmicos no qual modelos podem ser criados e editados por meio de diagramas estruturais, sem precisar conhecer a codificação simbólica de uma linguagem de programação (RILEY, 1990). A construção de um modelo usando o *STELLA* consiste em desenhá-lo na tela com

estoques (retângulos), com fluxos (torneiras ou válvulas), com conversores (círculos), e com conectores (setas) como representados na

Tabela 5,

Tabela 5 - Componentes Básicos do STELLA

VARIÁVEIS	ÍCONE	DESCRIÇÃO
Estoque		Substantivo, representa algo que acumula, que pode ser alterado ao longo do tempo por um <i>fluxo</i> .
Fluxo		Verbo, atividade que altera o tamanho do <i>estoque</i> ao longo do tempo.
Conversor		Converte, armazena equação ou constante, não acumula. Representa o mecanismo para definir entradas externas e realizar cálculos algébricos.
Conector		Transmite dados ou informação, representa uma relação de causa-efeito entre variáveis, expressando uma dependência entre elas.

Fonte: SHIFLET, 2002; MULINARI et al., 2006

Depois da construção do modelo por meio de ícones, se escreve uma equação para cada inter-relação entre os componentes. Desta forma, juntas, as equações descrevem a dinâmica e o comportamento do modelo. (ANGELINI, 1999)

As variáveis de *estoque* (retângulos) representam repositórios de materiais tais como população, biomassa, nutrientes ou fundos monetários. Um *fluxo* é uma atividade que altera a magnitude de uma variável de estoque como, por exemplo, nascimento, formação de uma enzima ou crescimento de fundo monetário (SHIFLET, 2002). *Conversores* (círculos) são utilizados para modificar uma atividade e podem armazenar uma equação ou uma constante. Em um modelo populacional, por exemplo, um *conversor* poderia armazenar uma taxa de crescimento de 10%. Os materiais transcorrem entre as variáveis de *estoque* ou saem de fontes indefinidas ou se dirigem a destinos indefinidos (ambos representados por nuvens colocadas

nas pontas de estruturas de fluxos). *Fluxos* sofrem influência de variáveis auxiliares, de variáveis de estoque, e de outros *fluxos* (CONSTANZA; GOTTLIEB, 1998). Estas influências - denominadas *conectores* - são representadas por setas de informação. Um *conector* transmite dados ou informações, portanto não tem valor numérico. Em um modelo populacional, por exemplo, um *conector* pode transmitir o valor da taxa de crescimento do *conversor* para o *fluxo* de crescimento (SHIFLET, 2002).

A Figura 10 mostra um exemplo de modelo construído com STELLA onde as variáveis em vermelho correspondem à mortalidade da população, em azul aquelas que caracterizam o desenvolvimento da população e seus distintos estágios do desenvolvimento e em verde encontra-se representada a natalidade (MULINARI et al., 2006).

Figura 10 - Modelo da Dinâmica Populacional de *U. cordatus* no Manguezal da Baía de Vitória, ES (MULINARI et al., 2006)

Após a construção do modelo, o programa STELLA permite realizar uma simulação e, a partir dos estoques iniciais, da definição das diferentes variáveis e da própria simulação ficam disponíveis resultados em formato de gráficos ou de dados em tabelas.

3.2.13 O ecossistema como conceito multidimensional

Um ecossistema é um conceito ecológico fundamental, sutil e complexo muito utilizado tanto nas ciências biológicas como em outras disciplinas onde se faz um paralelo entre ecossistemas e ambientes cujas características são similares aos sistemas biológicos, como auto-organização e inter-relação entre componentes e o meio.

Pickett e Cadenasso (2002) estudaram as formas com as quais o conceito de ecossistema pode ser utilizado e concluíram que há pelo menos três formas ligadas, porém diferentes, com as quais o conceito pode ser utilizado. Cada uma destas formas pode ser considerada uma dimensão separada deste conceito complexo, e são elas: a definição, o modelo e a metáfora.

A primeira dimensão - **a dimensão da definição** - corresponde a uma definição abstrata que pode ser usada em grande variedade de situações, e se baseia na definição original definida por Tansley em 1935. Portanto, os componentes principais do conceito são os fatores abióticos, os fatores bióticos e as interações entre os mesmos. E, já que os próprios componentes de um ecossistema são também complexos, a definição implica uma estrutura aninhada hierárquica. A definição tem ainda outras características importantes. Um ecossistema pode ter qualquer tamanho, desde que comporte organismos, ambiente físico e as interações entre os mesmos. No entanto, todas as instâncias de ecossistemas têm uma extensão espacial definida que deve ser especificada em termos de suas fronteiras.

Esta definição geral de ecossistemas pode ser aplicada para qualquer situação onde há organismos e processos físicos interagindo em um espaço determinado e convida a uma ampla variedade de abordagens, desde biodiversidade, até nutrientes e processamento de energia. No entanto, o potencial desta definição só pode ser capturado se houver uma forma de organizar a enorme quantidade de casos e abordagens. Por isto, surge a segunda dimensão: **a dimensão do modelo** (PICKETT; CADENASSO, 2002).

A dimensão do modelo incorpora as especificações necessárias para endereçar as situações para as quais a definição poderia ser aplicada traduzindo a definição em ferramentas de trabalho e pesquisa, onde partes, interações e escopo são especificados.

Há vários modelos de ecossistemas que foram desenvolvidos a partir do foco de energia, nutrientes, organismos e com a inclusão de ciências humanas. Do ponto de vista de energia, ecossistemas são termodinâmicos e requerem um fluxo de energia para sua manutenção. Modelos baseados em nutrientes incorporam os processos químicos e biológicos que transformam nutrientes de uma espécie química para outra, e transferem nutrientes entre componentes bióticos. Modelos com foco na biodiversidade incluem a importância de riquezas de espécies, identidade de espécies, grupos funcionais e regras de agrupamentos, e têm por objetivo esclarecer o papel da diversidade biológica no funcionamento do ecossistema (RICKLEFS, 1996; ANGELINI, 1999; MARTEN, 2001; PICKETT; CADENASSO, 2002).

Todos estes modelos expressam a definição conceitual e incluem um complexo biótico, um complexo abiótico, assim como as interações internas e as interações entre complexos. Cada modelo implica também a definição de seu espaço físico. Estes modelos são especificados através do detalhamento de seu domínio (PICKETT; CADENASSO, 2002).

Ao descrever uma instância de modelo de ecossistema, é necessário estabelecer o seu domínio com os seguintes passos (PICKETT; CADENASSO, 2002):

- (a) identificar seus componentes bióticos e abióticos e seu nível de organização,
- (b) determinar a escala espacial e temporal endereçada pelo modelo,
- (c) delimitar suas fronteiras físicas,
- (d) descrever as conexões entre componentes, e
- (e) identificar as condições de contorno do sistema.

Ao usar um modelo de ecossistema, os componentes (entidades biológicas, sociais ou geofísicas) são identificados e são especificados a que nível de organização eles serão considerados: espécie, população ou comunidade.

Do ponto de vista temporal, um ecossistema pode ser sazonal, durar uma década ou mais; e, do ponto de vista espacial, um ecossistema pode usar uma escala fina ou larga (PICKETT; CADENASSO, 2002).

A delimitação das fronteiras de um ecossistema é importante, tanto para delimitar o escopo propriamente dito, quanto para identificar as influências externas e internas ao ecossistema. Ao articular as conexões entre componentes, estas devem ser detalhadas para definir quais componentes são ligados a outros, se a conexão é direta ou indireta ou se há uma estrutura hierárquica baseada na força das conexões.

As condições de contorno se referem a princípios relevantes ao modelo que podem regular o comportamento dos componentes. Em um modelo termodinâmico, por exemplo, a transferência de energia entre componentes tem um papel decisivo na auto-organização do sistema (PICKETT; CADENASSO, 2002; GOMES, 2007).

As duas dimensões acima descritas (da definição e do modelo) são dimensões técnicas que requerem precisão e exatidão para seu uso efetivo. Porém, há ainda a **dimensão da metáfora**, que é utilizada em discussões científicas informais e em diálogos públicos comuns. Em ciências, a metáfora tem um papel criativo, quando por exemplo um processo estudado é ligado a outro fenômeno. Já em diálogos informais, o ecossistema é freqüentemente usado para representar algum lugar na superfície da Terra, para representar o equilíbrio, a diversidade ou a adaptabilidade. O uso da metáfora acrescenta dimensões importantes para discussões informais. (PICKETT; CADENASSO, 2002).

Neste trabalho, o conceito de ecossistema biológico é utilizado na dimensão da definição e na dimensão do modelo para descrever uma proposta de ecossistema digital de aprendizagem, e é detalhado nas seções a seguir.

3.3 ECOLOGIAS DIGITAIS

Segundo Brown (1999), as riquezas social e econômica da nova economia dependem diretamente da criação rápida de conhecimento amplamente baseado na

tecnologia digital. Organizações buscam valorizar a criação de novos produtos, serviços e idéias. E, para o autor, uma organização é uma ecologia do conhecimento, pois é fundamentalmente dinâmica e ganha robustez por meio da diversidade. A chave para nutrir estas ecologias é encontrar o equilíbrio entre a espontaneidade e a estrutura, entre o imprevisto e os processos de negócios. Uma **ecologia do conhecimento** saudável necessita de duas espécies de participantes: o cientista sério, analítico, focado e consistente, e o artista imprevisível, brincalhão, que transcende fronteiras. As interações entre as duas espécies, quando bem sucedidas, criarão uma estrutura poderosa e auto-gerenciada para conectar pessoas e formar comunidades de prática.

Para Sedita (2003), a abordagem tradicional de ensino-aprendizagem em aulas estruturadas e pré-programadas tem pouca flexibilidade e, com horários fixos, oferece uma educação padronizada que muitas vezes não atende à demanda do indivíduo. Sistemas educacionais não fomentam a motivação para a aprendizagem, mas sim atitudes de abertura, curiosidade e responsabilidade, necessárias para viver e prosperar em um mundo permanentemente em mudança. Às vezes, fontes de conhecimento pré-embaladas como livros e artigos se tornam obsoletas ainda enquanto estão sendo preparadas. Por isto, novas sociedades de conhecimento necessitam de sistemas educacionais *ad hoc*, onde as salas de aula estatísticas devem ser conectadas a instrumentos e redes de conhecimento continuamente atualizados. A hierarquia clássica da relação entre professor e aluno está se transformando na construção de um ecossistema de conhecimento, que pode se estender ao longo da vida do aprendiz. O objetivo ambicioso de um ecossistema de conhecimento é criar e manter recursos humanos capazes de melhorar a vantagem competitiva de empresas onde são empregados, por meio da aplicação de seu conhecimento. Em um mundo estático, o importante é acumular conhecimento e não aprender; no entanto, em um mundo incerto onde ocorrem mudanças diárias é primordial aprender a aprender (SEDITA, 2003).

Dieu, Campbell e Ammann (2006) argumentam que a abordagem pedagógica baseada em P2P (modelo '*peer-to-peer*') pode apoiar a **ecologia da aprendizagem** que complementam e transcendem as estruturas e práticas de salas de aula convencionais, beneficiando os aprendizes. Os autores defendem que a hierarquia que surge de interações P2P é natural e flexível, e é baseada na qualidade das

contribuições e no consenso entre as partes. Historicamente, a estrutura de sistemas educacionais tem seguido a arquitetura cliente/servidor, refletindo o modelo de produção da indústria capitalista. Uma administração rígida e uma hierarquia instrucional (o servidor) são implementadas para entregar conhecimento padronizado aos alunos (clientes) em uma escala de massas para atender às demandas da sociedade geral. Com o amplo uso da Web, surgem oportunidades de praticar interações P2P em diversas situações educacionais. Muitos sistemas de gerenciamento de aprendizagem (ou LMS – *Learning Management Systems*) replicam a transmissão convencional e controlada de salas de aula tradicionais, onde os alunos executam atividades estruturadas de modo passivo ou receptivo. Muitas vezes o uso da Internet resulta num modelo onde materiais são descarregados da Web para complementar o livro didático ou outras atividades em sala de aula. Mas, a aprendizagem efetiva ocorre quando os aprendizes utilizam sua criatividade e quando eles aprendem com seus pares através da cooperação. Os autores sugerem implementar interações P2P numa abordagem ecológica, pois a Ecologia é uma ciência holística que tem como um de seus princípios que nenhum organismo ou fator ambiental pode ser tratado e estudado isoladamente de seu sistema ecológico, já que a alteração do organismo afeta seu ecossistema e vice-versa. A estrutura de um ecossistema biológico é similar à estrutura de uma arquitetura de rede P2P baseada em cooperação livre de participantes em uma rede fluida. Surge então um ecossistema baseado na Internet onde, em um contexto educacional resulta numa aprendizagem seguindo um modelo ecológico (DIEU et al., 2006).

3.4 ECOSSISTEMAS DIGITAIS

Pesquisadores que anteriormente representavam o Universo como uma máquina, um mecanismo de relógio funcionando sob regras lineares de causa e efeito, estão mudando de metáfora, visualizando seus objetos de investigação menos como um mecanismo de relógio e mais como ecossistemas (RESNICK, 2003).

Recentemente, ecossistemas digitais foram introduzidos às sociedades da informação e da comunicação (DEST, 2007; CHANG; WEST, 2006; CHANG; GUETL, 2007; KÜSTER et al., 2007; UDEN; DAMIANI, 2007; INDRAWAN et al., 2007; HAZDIC et al., 2007). Estes pesquisadores têm buscado uma definição de ecossistemas digitais que são, na essência, análogos às comunidades ecológicas naturais, pois são sistemas complexos, dinâmicos e adaptativos, que incluem componentes digitais interagindo entre si e com o meio digital.

A motivação principal para a pesquisa em ecossistemas digitais é o desejo de explorar as propriedades de auto-organização de ecossistemas naturais. Ecossistemas biológicos são considerados robustos, de arquiteturas escaláveis que podem automaticamente resolver problemas complexos e dinâmicos. Propriedades biológicas, tais como a evolução de populações, ambientes complexos e dinâmicos e distribuição espacial que criam interações locais, contribuem para os aspectos auto-organizacionais de ecossistemas naturais (BRISCOE et al., 2007).

Ecossistemas biológicos são fenômenos naturais ubíquos, cuja manutenção é essencial para a nossa sobrevivência. O desempenho de ecossistemas naturais é muitas vezes medido em termos de sua estabilidade, complexidade e diversidade. Para Briscoe et al., ecossistemas digitais são tecnologias criadas para servir propósitos humanos específicos. E, o desempenho de tais sistemas é avaliado relativamente à função para a qual eles foram projetados. Em alguns casos, o objetivo de um ecossistema digital é de resolver com alta eficiência problemas dinâmicos em paralelo. A maior vantagem de ecossistemas digitais em relação a outros modelos organizacionais complexos é seu potencial de auto-organização dinâmico e adaptativo. Porém, para garantir a utilidade de tais modelos, estes devem ser eficientes no sentido computacional, mas também devem resolver problemas significativos. Neste sentido ecossistemas digitais devem ser atentos a demandas de usuários. Portanto, a construção de ecossistemas digitais úteis requer um equilíbrio entre a liberdade do sistema de se auto-organizar e a necessidade de geração de soluções significativas para os usuários (BRISCOE et al., 2007).

Para Hazdic et al. (2007), um ecossistema digital é o complexo dinâmico e sinérgico de comunidades digitais que consiste de espécies digitais com suas conexões, relações e dependências, situadas em um ambiente digital, que interagem como uma unidade funcional e são interligadas através de ações, de

fluxos de informação e de transação. Os autores afirmam que ecossistemas digitais estão ainda no princípio da fase de implementação e que não há ainda uma metodologia clara para o projeto de tais sistemas, com isto apresentam uma proposta de arcabouço (ou *framework*) metodológico para o desenvolvimento de ecossistemas digitais dividido em cinco fases que se concentram nos papéis dos componentes de um ecossistema, na organização e colaboração dos mesmos, assim como na inteligência e segurança do ecossistema todo. Para os autores, uma espécie digital consiste de *hardware* (como o corpo de uma espécie biológica) junto com seu *software* associado (em analogia à vida de uma espécie biológica). Alguns exemplos de espécies digitais são PDAs (*Personal Digital Assistant*), telefones celulares ou *laptops*. O ambiente digital corresponde ao ambiente biológico, pois nele vivem e funcionam as espécies digitais. O fluxo de informação pode ser uma idéia expressa em linguagem natural ou formal, digitalizada, transportada dentro do ecossistema e processada por computadores ou humanos. Um ecossistema digital é caracterizado pelas suas atividades e processos que atraem espécies digitais a participar do mesmo e se beneficiar do ambiente. A grande maioria destes processos se refere ao compartilhamento de conhecimento e à cooperação. As cinco fases da metodologia de projeto de ecossistemas digitais consistem nos seguintes passos (HAZDIC et al., 2007):

- (1) definir as metas das diferentes espécies digitais
- (2) tornar as espécies digitais inteligentes
- (3) definir a colaboração entre espécies digitais
- (4) permitir, melhorar e/ou construir espécies digitais individuais
- (5) proteger o ecossistema implementando requisitos de segurança.

Ultimamente, as pesquisas do ponto de vista tecnológico têm focado as discussões na idéia de criar ecossistemas digitais de negócios que englobam pequenas e médias empresas como entidades dos sistemas (NACHIRA, 2002; DINI et al., 2005; INDRAWAN et al., 2007). A metáfora biológica é utilizada como modelo de interação entre pequenas e médias empresas e seu ambiente (ou sua infra-estrutura).

Um ecossistema digital de negócios é uma inovação tecnológica e econômica. Especificamente, é uma infra-estrutura de *software* cujo objetivo é apoiar um grande número de usuários de negócios e serviços interagindo entre si. Os indivíduos de um

ecossistema digital de negócios são agentes de *software* que representam entidades de negócios ou serviços. Estes agentes interagem, evoluem e se adaptam ao ambiente dinâmico digital servindo, desta forma, os requisitos de negócios, constantemente mudando e impostos pela economia (BRISCOE et al., 2007).

Esta aplicação da metáfora de ecossistemas para a interação entre pequenas e médias empresas assume o ponto de vista de macro ecossistema. No entanto, há uma outra situação onde a metáfora se refere a um micro ecossistema. É o caso da Ecologia de Equipamentos (*Device Ecology*), onde o conceito de ecossistema é proposto para gerenciar uma coleção de equipamentos inteligentes no âmbito de uma casa. Neste caso, considera-se que os utilitários, ou seja, os equipamentos elétricos podem ter comportamentos *inteligentes* e executar funções específicas para ambientes caseiros. O micro ecossistema proposto propõe a inclusão de três espécies: os usuários humanos, os equipamentos *inteligentes* e o servidor. O ambiente é constituído pela temperatura, a umidade e o tempo. Fatores ambientais influenciam a operação da ecologia de equipamentos. É possível, por exemplo, que um equipamento de ar-condicionado seja ligado se a temperatura interna da casa chega a um certo grau. As informações sobre o ambiente são coletadas por meio de um mecanismo de sensores. E, com conhecimento do perfil dos usuários, o servidor toma decisões apropriadas e ativa ou desativa equipamentos (INDRAWAN et al., 2007).

Um ecossistema digital é um sistema que apóia a cooperação, o compartilhamento do conhecimento, o desenvolvimento de tecnologias abertas e adaptativas e a evolução de ambientes ricos em conhecimentos (DIGITALECOSYSTEMS, 2007; KÜSTER et al., 2007; UDEN; DAMIANI, 2007). Ecossistemas digitais capturam a essência do ambiente ecológico clássico e complexo, onde organismos formam um sistema dinâmico e inter-relacionado. Ecossistemas digitais são habitados por populações humanas e digitais e sua criação depende exclusivamente das interações entre humanos e sistemas digitais. Ecossistemas digitais não são apenas ambientes pervasivos habitados por componentes digitais que evoluem e se adaptam às condições locais graças à recombinação e evolução de seus componentes digitais, mas dependem da satisfação e do benefício de sua população humana (KÜSTER et al., 2007).

Igualmente a um ambiente ecológico, um ecossistema digital consiste de espécies que criam e conservam recursos valiosos. O *software*, os bancos de dados e os serviços se referem a espécies digitais. As espécies econômicas são as entidades de negócios que formam um ecossistema complexo, dinâmico e inter-relacionado. Este pode ser definido como uma composição de entidades multiformes e heterogêneas, que participam de um domínio digital e conduzem interações multidisciplinares. Um ecossistema digital é um ambiente aberto, flexível, colaborativo, onde cada espécie é pró-ativa e responsável por sua própria segurança enquanto contribui para o bem estar do ecossistema como um todo. O sistema é aberto, pois é um ambiente onde todos são convidados a participar exceto espécies perigosas que têm a intenção de causar danos à comunidade. O paradigma transcende a definição rigorosa de ambientes colaborativos centralizados (cliente-servidor), distribuídos ou híbridos (*peer-to-peer*), para modelos de comunidades baseadas em agentes, abertas, orientadas a demandas interativas, que oferecem serviços digitais e atividades que atraem a participação de outros agentes para se beneficiar da mesma (CHANG; WEST, 2006).

O uso da metáfora de ecossistemas e a aplicação da mesma em alguns ambientes têm sido relatados na literatura que define um ecossistema de negócios como a rede de compradores, fornecedores e fabricantes de um conjunto de produtos ou serviços junto com seu ambiente socio-econômico, a sua infra-estrutura institucional e seus regulamentos (DIGITALECOSYSTEMS, 2007; UDEN; DAMIANI, 2007). Para Dini et al. (2005), ecossistemas digitais de negócios resultam da co-evolução de ecossistemas digitais e de ecossistemas de negócios. A rede de ecossistemas digitais oferece às pequenas e médias empresas, e às áreas menos desenvolvidas ou mais afastadas, a oportunidade de participar da economia global. As tecnologias de ecossistemas digitais permitem novas formas de interação dinâmica e novas formas de cooperação global entre organizações e comunidades de negócios, fomentando o crescimento econômico local. Com isto, o conhecimento, a cultura e a identidade local são preservadas e contribuem para superar as diferenças de acesso à tecnologia.

Benkler (2001) se baseia na metáfora de ecossistema para explicar os desacordos ocorridos nos anos 1990, entre os ecossistemas tecnológicos e os ecossistemas econômicos no que diz respeito à produção de informação. Com a ampla divulgação

e utilização da *Web*, voluntários começaram a preencher a rede mundial com informação, conhecimento e trocas culturais. Para o autor, o advento do *software* livre é a peça central responsável pela emergência de espécies que produzem informações e código aberto. A produção voluntária e, muitas vezes, a produção cooperativa voluntária, organiza-se por meio de comunicação e não por mecanismos de mercado ou por hierarquias gerenciais. Neste sentido, a comunidade de *software* livre tem provocado espontaneamente uma organização que busca um objetivo comum e uma eficiência mensurável. Esta organização e eficiência sugere a possibilidade de uma sustentabilidade econômica e a potencial superioridade no novo modelo de produção de informação em relação ao antigo, regido por direitos autorais pertencentes a grandes empresas.

Um exemplo de ecossistema digital relatado por Küster et al. (2007), é o TextGrid, uma iniciativa de oito instituições alemãs, definida como um ecossistema digital cujo objetivo é a criação de uma comunidade para a edição colaborativa, a anotação, a análise e a publicação de textos científicos. O ecossistema envolve diferentes espécies: humanos e agentes de *software*, e consiste de alguns subsistemas que interagem entre si. Os subsistemas principais são: os usuários finais, os provedores de conteúdos e os desenvolvedores de *software*. Estes são igualmente necessários, porém suas motivações e condições de vida são diferentes. Usuários finais desejam a possibilidade de buscar informações das fontes armazenadas, desenvolvedores de *software* se preocupam com os benefícios tangíveis de suas aplicações, e os provedores de conteúdo se interessam pelo controle de sua propriedade intelectual. TextGrid é um ecossistema que deve fornecer boas condições de vida para seus habitantes, enquanto mantém o seu ambiente aberto para poder comunicar-se e interoperar com outros ecossistemas (KÜSTER et al., 2007).

3.5 ECOSSISTEMAS DIGITAIS DE APRENDIZAGEM

No campo da aprendizagem apoiada por mídias digitais, pesquisadores têm usado a definição, o modelo e a metáfora de ecossistemas biológicos para definir ecossistemas digitais de aprendizagem (LOOI, 2001; RESNICK, 2003;

GALARNEAU, 2005; DINI et al., 2005; KÜSTER et al., 2007; CHANG; GUETL, 2007; UDEN; DAMIANI, 2007).

Para Brown (2000) e Oblinger (2004) a *Web* tem levado ao desenvolvimento de um novo tipo de alfabetização multimídia ou digital. Hoje, nossa compreensão não se baseia única e principalmente em texto; muitos aprendizes combinam intuitivamente a compreensão de um texto e de imagens simultaneamente. Isto é fruto de sua alfabetização digital. Esta evolução acompanha a visão da aprendizagem que migrou de um ambiente onde a informação era transmitida para um ambiente de descoberta e de aprendizagem por experiência. Brown (2000) ainda sugere que, ao invés de isolar aprendizes em cursos estruturados e rígidos, nos quais o professor e o material impresso são as fontes principais de conhecimento, os aprendizes sejam guiados para uma ecologia de aprendizagem fluida e dinâmica na qual há navegação e aprendizagem experimental, e onde a aprendizagem ocorre através da descoberta, da experimentação, da criação e do compartilhamento de conteúdos criados pelos próprios aprendizes. Siemens (2005) acrescenta que nestes ambientes os aprendizes buscam conhecimento, informação e deduzem significados explorando objetivos próprios. A ecologia da aprendizagem é um conjunto de comunidades de interesse que polinizam umas às outras, que estão em constante evolução e que se organizam automaticamente (SIEMENS, 2005).

Com a disseminação da tecnologia e o crescente acesso à Internet, as tecnologias são tão pervasivas que formam um ecossistema de aprendizagem. Para Wilkinson (2002), um ecossistema de aprendizagem conta com a reusabilidade, a lógica e a taxonomia compartilhada, a convergência de gerenciamento do conhecimento e de aprendizagem, para apoiar um novo modelo no qual aprendizagem e trabalho são interligados. Segundo a autora, a arquitetura fundamental de um ecossistema de aprendizagem compreensivo e coesivo inclui os seguintes elementos:

- (1) uma taxonomia de conteúdos compartilhada,
- (2) um sistema de gerenciamento de aprendizagem (*LMS – Learning Management System*),
- (3) um sistema de gerenciamento de conteúdos de aprendizagem (*LCMS – Learning Content Management System*),

- (4) um repositório de objetos com acesso externo ao gerenciador de conhecimento,
- (5) um sistema de integração e gerenciamento de fluxo de trabalho (*workflow*),
- (6) um motor de avaliação (*assessment engine*),
- (7) um motor de simulação e jogos (*game engine*),
- (8) ferramentas para colaboração e discussão, e
- (9) um elemento de suporte e orientação (WILKINSON, 2002).

Os pesquisadores Zhao e Frank (2003) defendem que uma abordagem ecológica provê um *framework* analítico poderoso para entender o uso da tecnologia nas escolas. Para isto, os pesquisadores estudaram o uso da tecnologia em 19 escolas pertencentes a quatro distritos de um estado americano.

Segundo os autores, muitos fatores afetam o uso de tecnologia nas escolas, entre os quais idéias conflitantes sobre o benefício do uso de tecnologias nas escolas, as constantes mudanças da tecnologia que dificultam a atualização dos professores e a inerente falta de confiabilidade na tecnologia. Estes fatores são muitas vezes examinados isoladamente um do outro e isoladamente do sistema no qual eles são inseridos. Raramente são estudados juntos sob o mesmo *framework* identificando sua relativa importância e as relações entre si.

Para Zhao e Frank (2003), o estudo tradicional de fatores discretos, isolados, não pode mais ser utilizado para entender o uso de computadores nas escolas. É necessário usar uma abordagem ecológica que provê uma resposta orgânica, dinâmica e complexa para analisar um fenômeno orgânico, dinâmico e complexo.

E, para construir o *framework* ecológico, os autores estabeleceram a seguinte equivalência:

- (a) escolas são ecossistemas;
- (b) computadores são espécies vivas;
- (c) professores são membros de espécies *chave* (*keystone*); e
- (d) inovações educacionais externas são a invasão de espécies exóticas.

As pontes metafóricas ajudaram a aplicar os conceitos ecológicos para entender o uso de tecnologias nas escolas. A escola e suas salas de aula constituem um ecossistema, pois estas contêm muitos componentes e suas relações, tais como os fatores bióticos (professores, estudantes, pais, administradores) e fatores abióticos (espaço físico, laboratórios de informática, livros e outros matérias) (ZHAO; FRANK, 2003).

Em uma escola, professores, alunos, livros, dicionários, carteiras, e outras espécies interagem de tal forma que o sistema permite que a aprendizagem ocorra. A escola é uma unidade completa, necessária para o funcionamento ao longo de muito tempo, e tem uma estrutura hierárquica (coordenadorias federais, estaduais, regionais e municipais). A escola, como ecossistema, exibe uma diversidade de espécies, cada uma com suas características e sua função específica (ou seu *nicho*), afetando umas às outras e modificando suas relações (ZHAO; FRANK, 2003).

A abordagem de ecossistema permitiu o levantamento, a análise e a organização dos fatores que influenciam o uso de computadores nas escolas, e evidenciou que a introdução de inovações deve verificar se os organismos do ecossistema estão preparados para acomodar mudanças e se haverá oportunidade de adaptação mútua para não sobrecarregar o sistema. (ZHAO; FRANK, 2003).

Para Uden e Damiani (2007), a abordagem de ecossistema digital reproduz no mundo digital alguns mecanismos de ecossistemas naturais, como por exemplo, a interação entre ecossistemas. E, similarmente a ecossistemas da natureza, um ecossistema digital consiste de espécies como as espécies biológicas, que criam e conservam recursos que os humanos valorizam. Bancos de dados, *software*, aplicações e serviços correspondem a espécies digitais, e entidades de negócios correspondem a espécies econômicas.

Espécies digitais interagem, têm comportamento independente e evoluem ou desaparecem, segundo leis da seleção de mercado. Espécies digitais inovadoras e mais evoluídas aparecem continuamente, muitas vezes provenientes da combinação ou mesmo mutação de espécies mais simples e provocam a obsolescência de espécies digitais menos adaptadas, as quais vão desaparecendo por falta de demanda (UDEN; DAMIANI, 2007).

A infra-estrutura de um ecossistema digital é um ambiente pervasivo, habitado por componentes que evoluem e se adaptam às condições locais devido à recombinação e evolução de seus componentes digitais. Um componente digital, como uma aplicação, um conhecimento ou um serviço, pode ser qualquer idéia digitalizada e transportada no ecossistema, e que pode ser processada por humanos ou computadores. A infra-estrutura de um ecossistema digital suporta a descrição, composição, evolução, integração, o compartilhamento e a distribuição de componentes digitais (UDEN; DAMIANI, 2007).

Quanto à definição de ecossistema de *e-learning*, segundo Uden e Damiani (2007), este é o termo usado para descrever todos os componentes necessários para implementar uma solução de *e-learning* e se divide em três categorias: provedores de conteúdos, consultores e infra-estrutura (Figura 11).

Figura 11 - Componentes de Ecossistema de e-Learning (UDEN; DAMIANI, 2007)

Nesta visão, provedores de conteúdo oferecem conteúdos para soluções de aprendizagem com base em diferentes metodologias, tais como aprendizagem em sala de aula, aprendizagem *on-line* síncrona, e aprendizagem *on-line* assíncrona. Há ainda três tipos de provedores de conteúdo: os provedores de conteúdo conceituado (normalmente associados a uma faculdade ou a uma editora), os provedores de conteúdo customizado e os provedores de conteúdo disponibilizado em comodato (UDEN; DAMIANI, 2007).

Neste ecossistema, há quatro tipos de consultores: o consultor de estratégia que modela o sistema, o consultor de compensação que desenvolve estratégias de compensação para garantir a motivação dos aprendizes, o consultor de TIC que define a infra-estrutura tecnológica necessária e, finalmente, o consultor de implementação que trabalha junto com equipes de TIC e de estratégia para implementar o sistema (UDEN; DAMIANI, 2007).

Quanto ao componente de infra-estrutura, este define as ferramentas, o ambiente de aprendizagem (ou LMS – *Learning Management System*) e o provedor de conteúdo (ou CDS – *Content Delivery System*). Os autores recomendam alguns passos para a criação de um ecossistema de *e-Learning*. São eles: identificação das necessidades, seleção do ambiente de aprendizagem (LMS) para a construção da solução tecnológica, seleção de teorias pedagógicas de aprendizagem, criação de conteúdo e atualização contínua de aplicações e infra-estrutura (UDEN; DAMIANI, 2007).

Segundo Looi (2001), usuários de Internet com interesses em comum formam populações e comunidades em ecossistemas de aprendizagem. A sobrevivência de uma população é garantida pela continuação de seu código genético. A analogia para uma comunidade de aprendizagem é a continuação de sua base de conhecimento, suas ferramentas, suas práticas e seus valores. Comunidades *on-line* são uma forma de preservar e continuar os interesses, o conhecimento e a cultura de um grupo ligado por interesses comuns (LOOI, 2001). Para o autor, a teoria ecológica se concentra nos estudos de populações, não de indivíduos, e na dinâmica das relações entre populações e ambiente. Um sistema ecológico tem variáveis, relações e dinâmica. Observando a Internet como um sistema ecológico percebe-se que qualquer usuário pode ser autor e contribuir para o conteúdo da *Web*, seja com mensagens de e-mails, criando e disponibilizando páginas ou participando de grupos de discussão. Já as relações podem ser observadas quando autores ligam seu conteúdo ao conteúdo de outros, e quando os conteúdos disponibilizados na *Web* são imediatamente acessados por outros (LOOI, 2001).

Recentes pesquisas definem a aprendizagem como a participação em um ambiente ou uma comunidade onde aprendizes trabalham juntos e ajudam uns aos outros a usarem fontes de informação e ferramentas para alcançar seu objetivo de aprendizagem e resolver problemas. De uma forma mais ampla, é possível dizer que

as comunidades de aprendizagem nascem, evoluem, desaparecem, se regeneram ou se transformam (LOOI, 2001).

A *Web* trouxe um meio poderoso para a criação e o apoio a estas comunidades, pois provê mecanismos para a interação entre pessoas, para o compartilhamento de informações e para o desenvolvimento de relacionamentos entre usuários. A aprendizagem ocorre em vários ambientes em uma rica diversidade de níveis e pode ser estudada sob diferentes perspectivas. Numa perspectiva individual, a aprendizagem ocorre em um nível cognitivo. Sob o ponto de vista de grupos, a aprendizagem ocorre nas interações entre espécies do mesmo grupo. E, inclusive, surgem comunidades quando há coexistência de espécies ou populações (LOOI, 2001).

Diferentes comunidades formam ecossistemas de aprendizagem onde há interação em cada nível e entre os níveis, determinando o comportamento complexo dos mesmos. O conhecimento, distribuído entre diferentes pessoas é mediado por ferramentas e artefatos no ambiente. Ao analisar a aprendizagem usando a metáfora da Ecologia, os ambientes são vistos de uma perspectiva mais sistemática, e a aprendizagem é visualizada como uma rica diversidade de níveis de organização (espécie, população ou comunidade) onde os participantes interagem dentro de cada nível e entre os diferentes níveis (LOOI, 2001).

Galarneau (2005) examinou jogos massivos e relatou de que forma ecossistemas de aprendizagem emergem de jogos massivos multi-usuários *online*. A lógica deste tipo de jogo é projetada de tal forma que muitas vezes, para realmente dominar a arte do jogo, é necessário colaborar com outros jogadores. Com isto, grupos de jogadores individuais de todo mundo emergem de forma totalmente descentralizada e auto-organizada, com o objetivo de ajuda mútua para entender como jogar, para formar grupos de jogadores ou até para co-produzir jogos em colaboração com os próprios desenvolvedores (GALARNEAU, 2005).

Este movimento de nascimento de grupos de colaboradores, originalmente denominados por Wenger (1998) de comunidades de prática, segue as regras clássicas de emergência de sistemas biológicos. Comunidades de prática são essencialmente informais e auto-organizadas, e emergem de grupos de pessoas que são ligadas por meio de atividades conjuntas e por meio da aprendizagem que ocorreu no decorrer das atividades desempenhadas pelo grupo (WENGER, 1998).

Por outro lado, comunidades de aprendizagem incluem a escola, o local de trabalho, a casa, o ambiente estendido de familiares e amigos, ou um grupo de interesse específico. Nestas comunidades, as relações determinam, mais do que a informação, como problemas são resolvidos ou como oportunidades são exploradas (LOOI, 2001).

O próprio uso da Internet pode apoiar e motivar novas formas de pensar – em particular, formas ecológicas de pensar. A metáfora da *Web* como um ecossistema deve ser acrescentada a outras metáforas da rede mundial, tais como biblioteca, estradas e mercados (RESNICK, 2003). A *Web* é baseada em uma estrutura descentralizada, e fomenta a colaboração descentralizada de seus usuários. Idéias competem pela atenção de leitores, algumas são reproduzidas e ampliadas, outras desaparecem.

O desenvolvimento de ambientes de aprendizagem baseados na Ecologia requer uma mudança na forma tradicional de pensar sobre o controle. Experiências de aprendizagem não podem ser diretamente controladas ou planejadas de cima-para-baixo. O desafio é criar ambientes férteis onde atividades interessantes e idéias possam nascer, crescer e evoluir (RESNICK, 2003).

Para Chang e Guetl (2007), anteriormente, pesquisas sobre ambientes de aprendizagem focavam apenas nos aspectos tecnológicos e, mais recentemente, sobre tecnologias para aprendizagem via *Web* (*e-Learning*). Os autores defendem que, para haver uma aprendizagem efetiva e para oferecer ambientes de aprendizagem de qualidade, é necessária uma abordagem ecológica e integrada. Neste sentido, a metáfora de ecossistema enfatiza a abordagem holística, quando são realçados o significado e o comportamento de cada componente, suas relações e interações, assim como as fronteiras do ambiente. Um modelo de ecossistema pode ser utilizado para examinar sistemas existentes ou para desenvolver sistemas novos eficientes e bem sucedidos (CHANG; GUETL, 2007).

Os autores propõem uma visão genérica de ecossistema de aprendizagem que consiste de participantes humanos, incorporando a cadeia de processo de aprendizagem, e o meio ambiente que consiste das ferramentas de aprendizagem, ambos limitados pelas fronteiras ambientais. Chang e Guetl (2007) apresentam um modelo genérico de ecossistema de aprendizagem ilustrado na Figura 12.

Figura 12 - Ecossistema de Aprendizagem segundo Chang e Guetl (2007)

Neste ecossistema, os fatores bióticos são as comunidades de aprendizagem, são os participantes tais como professores, tutores, alunos, criadores de conteúdo, desenvolvedores e pedagogos e representam as partes vivas do ecossistema. Já as ferramentas de aprendizagem constituem os fatores abióticos, ou ambiente de aprendizagem comparável ao ambiente físico, e contam com as partes não vivas do ecossistema: os conteúdos, aspectos pedagógicos, as tecnologias e as ferramentas (CHANG; GUETL, 2007).

As fronteiras ambientais, em analogia às fronteiras físicas de um sistema biológico, definem as bordas físicas e lógicas do ecossistema de aprendizagem. As condições de contorno do ecossistema são determinadas por influências internas, tais como a evolução do conhecimento, objetivos educacionais, tarefas de aprendizagem, e por influências externas, tais como aspectos culturais e sociais, expectativas da sociedade, indústria e empresas privadas, o governo, serviços públicos ou organizações sem fins lucrativos (CHANG; GUETL, 2007).

Os autores descrevem também as relações e interações definidas pelo fluxo de informação, transferência e transformação de conhecimento. Como num sistema biológico, indivíduos (representados por pequenos círculos pretos na Figura 12) podem formar grupos espontaneamente (círculos transparentes), e podem interagir uns com os outros e com utilidades de aprendizagem a nível individual ou em grupos. Indivíduos podem também fazer alterações ou adaptar comportamentos

específicos a fim de contribuir ou perturbar o sucesso do ecossistema de aprendizagem (CHANG; GUETL, 2007).

Alterações nas condições de contorno influenciam o comportamento do sistema e de seus componentes. Para garantir o sucesso, cada indivíduo e cada grupo deve se adaptar às condições ambientais e encontrar seu *nicho*, e para comportar todos os *nichos*, ferramentas de aprendizagem apropriadas devem estar disponíveis (CHANG; GUETL, 2007).

Para Chang e Guetl (2007), esta visão genérica pode ser aplicada a qualquer situação de aprendizagem, tais como aprendizagem presencial ou aprendizagem pela *Web* (*e-learning*). Os autores definem um ecossistema de *e-Learning*, como um caso específico de ecossistema de aprendizagem, e que consiste de comunidades de indivíduos ou de grupos interagindo ou colaborando de forma síncrona ou assíncrona. Os indivíduos têm atributos que incluem estilos de aprendizagem, estratégias de aprendizagem, preferências e conhecimento prévio. Professores, tutores, criadores de conteúdo, desenvolvedores e técnicos de suporte provêm a infra-estrutura tecnológica para as atividades de *e-Learning*. Quanto às ferramentas, estas incluem mídias estáticas e dinâmicas que comportam conteúdos e aspectos pedagógicos. Fontes externas como bibliotecas digitais fazem parte das ferramentas de aprendizagem. Provedores de conteúdo, ambientes de aprendizagem e plataformas de *hardware* são outros exemplos de ferramentas. Quanto às condições de contorno, estas sofrem influência externa como da indústria, por exemplo, que busca profissionais com competências específicas ou de políticas governamentais, que alteram o currículo escolar (CHANG; GUETL, 2007).

3.6 CONCLUSÃO

Este capítulo apresentou inicialmente o conceito de ecologia e de ecossistemas biológicos, e as dimensões nas quais estes conceitos podem ser utilizados. E posteriormente foram relatadas pesquisas que utilizam a abordagem biológica para criar ou analisar ecossistemas digitais e ecossistemas digitais de aprendizagem.

Alguns autores se baseiam na definição de ecossistema ecológico, outros no seu modelo e outros ainda na sua metáfora. No entanto, percebe-se que ainda não há um consenso para definição de ecossistemas digitais e ecossistemas digitais de aprendizagem.

4 PROPOSTA DE ECOSSISTEMA DIGITAL DE APRENDIZAGEM

A nova geração de aprendizes nascidos na era digital tem contato com tecnologias digitais em uma grande variedade de contextos (Seção 2.2). Professores fazem uso de diversos paradigmas educacionais para trabalhar com seus alunos nativos digitais e podem optar por atividades apoiadas por novas tecnologias em diferentes espaços: na escola, na sala de aula e fora da escola, em passeios escolares, por exemplo (Seção 2.3). Sabemos que experiências de aprendizagem ocorrem não exclusivamente no interior do ambiente escolar e podem ser apoiadas por tecnologias em situações formais e informais de aprendizagem.

Novas plataformas interativas digitais impulsionam pesquisas em tecnologias que exploram o poder computacional e a interatividade das mesmas. É o caso, por exemplo, do uso de tecnologias inovadoras para apoiar atividades de aprendizagem em experiências imersivas como Realidade Virtual, Realidade Aumentada e simulações (Seção 2.7) .

A disseminação de tecnologias digitais e o crescente aumento do acesso às mesmas, assim como a ampla disponibilidade de informações encontradas na *Web* e o surgimento de software livre, têm incentivado a troca entre indivíduos e a emergência espontânea de comunidades de interesse: comunidades de conhecimento, comunidades de aprendizagem, comunidades de negócios (Seção 3.5). Com isto, pesquisadores têm buscado características da Ecologia e dos sistemas biológicos para entender, analisar e criar ecossistemas digitais. Em alguns casos, apenas a definição de ecossistema biológico é usada como fonte de inspiração (LOOI, 2001; DIEU et al., 2006; CHANG; WEST, 2006; BRISCOE et al., 2007; KÜSTER et al., 2007). Em outros, o modelo e suas características são mapeados para ambientes digitais de aprendizagem (ZHAO; FRANK, 2003; HAZDIC et al., 2007; UDEN; DAMIANI, 2007; CHANG; GUETL, 2007) e há ainda situações onde a metáfora serve de base para entender acontecimentos

emergentes que envolvem seres humanos e meios digitais (BROWN, 1999; BENKLER, 2001; WILKINSON, 2002; SEDITA, 2003; RESNICK, 2003; INDRAWAN et al., 2007). Contudo, esta tendência é relativamente recente e não há ainda uma definição consolidada de ecossistemas digitais e de ecossistemas digitais de aprendizagem, tampouco há um consenso sobre sua finalidade.

Com base nos ecossistemas biológicos e nos exemplos de ecossistemas digitais de aprendizagem encontrados na literatura propomos, neste capítulo, uma nova definição de Ecossistema Digital de Aprendizagem. Apresentamos também o modelo Gaia, cujos artefatos podem auxiliar no detalhamento do domínio de um ecossistema digital de aprendizagem específico. O modelo Gaia pode servir tanto na concepção de novas ferramentas educacionais digitais, na fase da análise de seus requisitos para complementar abordagens tradicionais, quanto para analisar ferramentas digitais existentes, a fim de proporcionar uma visão integrada de suas características principais e evidenciar como elas podem ser ampliadas.

Com a mudança do perfil dos alunos, com a inserção das mídias digitais no seu dia-a-dia, com paradigmas educacionais centrados no aprendiz e com as inovações tecnológicas, há a necessidade de abordar ferramentas educacionais como seres biológicos, que podem trocar materiais e energia com o ambiente, armazenar informações hereditárias e evoluir devido à reprodução e seleção. Propomos que a concepção de tais ferramentas se apóie no modelo de ecossistema da natureza a fim de criar condições para um modelo de crescimento e que a análise de ferramentas existentes seja conduzida de forma integrada da própria ferramenta no seu contexto de uso.

4.1 DEFINIÇÃO

Segundo Pickett e Cadenasso (2002), a abordagem ecológica de ecossistemas utilizada na sua dimensão de definição, envolve a descrição de seus fatores

bióticos, de seus fatores abióticos e das interações entre os mesmos. A definição implica uma estrutura aninhada hierárquica e a percepção que um ecossistema pode ter qualquer tamanho, desde que comporte organismos, ambiente físico e as interações entre os mesmos. Já as instâncias de ecossistemas têm uma extensão espacial definida que deve ser especificada em termos de suas fronteiras.

Partindo da aprendizagem centrada no aprendiz, segundo a qual envolve-se menos a aquisição de informações e mais a criação de opiniões sobre o mundo e a troca de idéias com outros, esta é alcançada por meio da exploração e interação que desencadeiam o processo construtivo do conhecimento (PIAGET, 1972; PAPERT, 1986; VYGOSTKY, 1978; ACKERMANN, 2001). Portanto, a aprendizagem ocorre quando o aluno interage com o objeto de estudo e com os outros: seus pares, seus professores e tutores. Detalhamos a seguir uma proposta de definição de ecossistema digital de aprendizagem.

Similarmente a ecossistemas biológicos, um Ecossistema Digital de Aprendizagem consiste de espécies, populações e comunidades que interagem entre si e com o meio ambiente. É o conjunto de relações entre fatores bióticos, e entre estes e os fatores abióticos.

4.1.1 Fatores bióticos

Os fatores bióticos de um Ecossistema Digital de Aprendizagem pertencem a duas espécies: a espécie humana (os atores) e a espécie digital (os conteúdos). Nesta visão, os conteúdos são considerados seres biológicos, podendo evoluir, efetuar trocas com outros seres biológicos e com o meio, reproduzirem-se, sofrer mutação e até mesmo desaparecer.

Apesar de não se parecerem com seres biológicos, conteúdos digitais seguem um processo similar de seleção natural e evolução. As necessidades humanas, as experiências e os talentos levam à criação de diversos conteúdos. Alguns destes

conteúdos são mais úteis ou mais ajustados (*fit*) que outros e sobrevivem, enquanto outros desaparecem. Novas demandas impulsionam a criação de novos conteúdos, os quais são adequados ao momento e que são, muitas vezes, baseados em conteúdos existentes (mutação). Novamente, alguns novos conteúdos serão considerados mais ajustados e sobreviverão (seleção natural) enquanto outros, menos ajustados, desaparecerão.

Neste sentido, consideramos que um indivíduo da espécie humana nasce no ecossistema ao começar a interagir com seus pares ou com indivíduos da espécie digital, e morre quando deixa de interagir com os mesmos.

4.1.2 Fatores abióticos

Entendemos por fatores abióticos as tecnologias por meio das quais ocorrem as interações entre espécies. Tecnologias pervasivas de *hardware*, de *software*, de rede e bancos de dados compõem o meio ambiente junto com paradigmas educacionais. As espécies interagem com o meio (as tecnologias) e entre si com o suporte do ambiente (as tecnologias), sem o qual as interações não seriam possíveis.

4.1.3 Interações

Existem diferentes formas de interações inter-espécies. Estas ocorrem quando a espécie humana interage com a espécie digital, quando indivíduos humanos criam indivíduos da espécie digital e quando a espécie digital é exibida à espécie humana.

Interações intra-espécie ocorrem quando indivíduos da espécie humana colaboram entre si (interagem com objetivo comum) e quando indivíduos da espécie digital cooperam entre si (operam em conjunto).

4.1.4 Relações de dependência

Como em sistemas ecológicos, em um ecossistema digital há relações de dependência entre espécies e o ambiente, assim como relações de dependência inter-espécies.

As interações são possíveis, pois as tecnologias que formam o ambiente apóiam a ocorrência das mesmas. Isto cria uma relação de dependência das espécies com o ambiente, pois sem interações não há ecossistema, e sem tecnologias no ambiente não há interações.

Quanto à relação inter-espécies, a humana tem tanto uma relação de consumidor quanto de produtor com a espécie digital. O consumo ocorre quando indivíduos da espécie humana interagem com a espécie digital e alteram o estado do conteúdo digital, ou quando o conteúdo digital é exibido ao indivíduo da espécie humana. Já a produção se dá quando a espécie humana cria indivíduos da espécie digital.

4.1.5 Estrutura aninhada hierárquica

Um Ecossistema Digital de Aprendizagem pode ter qualquer tamanho, desde que comporte organismos humanos (atores), organismos digitais (conteúdos), um ambiente físico (as tecnologias) e as interações entre os mesmos.

Já as instâncias de ecossistemas digitais de aprendizagem têm uma extensão espacial definida que deve ser especificada em termos de suas fronteiras, sejam elas fronteiras físicas ou fronteiras lógicas.

Devido à sua complexidade, um ecossistema digital pode conter outros ecossistemas formando uma estrutura aninhada hierárquica. Esta característica permite escolher um nível de abstração e determinar o foco quando estudar ferramentas digitais no seu contexto de uso.

Um exemplo de estrutura aninhada hierárquica (ilustrado na Figura 13) é o ecossistema digital de todas as escolas do município de São Paulo, no qual há ecossistemas individuais de cada escola (na figura há o exemplo da escola Ernani). Cada qual contém os ecossistemas formados pelas classes, que por sua vez contém os ecossistemas da classe utilizadores de uma ferramenta digital específica (no exemplo o ecossistema da classe 2ª C utilizando a ferramenta EduMusical). Assim, o ecossistema pode abranger desde um conjunto de escolas de um município até uma classe utilizando uma ferramenta educacional específica. Desta forma, a definição de ecossistema digital permite estudar espécies e interações em diferentes esferas. No exemplo, há quatro níveis de abstração: as esferas do município, da escola, da classe ou da ferramenta.

Figura 13 - Exemplo de Hierarquia de Ecossistemas Digitais de Aprendizagem

4.1.6 Herança e polimorfismo

As propriedades de herança e polimorfismo, emprestadas da modelagem orientada a objetos (BOOCH et al., 1998; JACOBSON et al., 1999) são aplicadas aos Ecossistemas Digitais de Aprendizagem. Neste sentido, um ecossistema herda características do ecossistema pai. No exemplo ilustrado na Figura 13, uma propriedade do ecossistema de escolas municipais de São Paulo é ter laboratórios de informática com conexão de banda larga à Internet. O ecossistema da escola Ernani herda esta propriedade do ecossistema pai.

E, caso um filho não tenha uma propriedade do pai (uma escola não tem conexão de banda larga, por exemplo) aplica-se o polimorfismo para definir as condições do filho (lembrando que há laboratórios de informática com conexão discada).

O objetivo da definição aqui proposta é enfatizar uma visão holística de espécies (humana e digital) interagindo no seu contexto de uso, para a qual o conjunto não é apenas a soma de todas as partes, mas sim as partes compõem o conjunto, sendo este que determina o comportamento das partes, como na definição original de Ecologia de Odum (1985).

No entanto, o potencial desta definição só pode ser capturado se há uma forma de organizar a enorme quantidade de casos e abordagens. Por isto, surge a segunda dimensão: a dimensão do modelo (PICKETT; CADENASSO, 2002), que é detalhado na Seção 4.3.

4.2 COMPARAÇÃO COM OUTRAS DEFINIÇÕES

Ao comparar a definição de Ecossistema Digital de Aprendizagem apresentada na Seção 4.1 com os relatos da literatura encontramos algumas analogias e algumas diferenças.

Como Küster et al. (2007), definimos que ecossistemas digitais são habitados por populações humanas e digitais, e que sua existência depende exclusivamente das interações entre humanos e sistemas digitais. Mas para Küster et al., espécies digitais são agentes de *software*. No entanto, definimos a espécie digital como qualquer conteúdo digital, desde conteúdos básicos como textos, imagens, sons e vídeos, até sistemas de autoria, simuladores e agentes de *software*.

Para Chang e West (2006), *software*, bancos de dados e serviços referem-se a espécies digitais. Para nós, bancos de dados e serviços são parte do ambiente, pois as interações acontecem por meio dele.

Concordamos com Looi (2001) quando definimos que indivíduos da espécie humana podem ser autores e contribuir com a criação de conteúdo digital.

Apesar de não ter abordado a arquitetura de rede propriamente dita, enfatizamos a importância das interações num ecossistema e a dependência que têm com as tecnologias do ambiente. Concordamos com Dieu et al. (2006) no sentido de focar nas interações P2P e não de usar uma arquitetura cliente/servidor, pois esta reproduz uma administração rígida, uma hierarquia instrucional e a transmissão convencional e controlada de salas de aula tradicionais, quando o servidor é implementado para entregar conhecimento padronizado aos alunos clientes em uma escala de massas. Do contrário, uma arquitetura de rede P2P apóia a cooperação livre de participantes em uma rede fluida.

4.3 MODELO GAIA

A partir da definição de Ecossistema Digital de Aprendizagem, proposta na Seção 4.1, apresentamos o modelo Gaia. Este modelo tem por objetivo traduzir a definição em ferramentas de trabalho e pesquisa, a fim de poder usá-lo na concepção de novas ferramentas digitais de aprendizagem ou na análise de ferramentas digitais existentes.

Segundo Pickett e Cadenasso (2002), ao descrever uma instância de modelo de ecossistema é necessário estabelecer o seu domínio seguindo alguns passos (Seção 3.2.13) que consistem em identificar, especificar, delimitar e descrever seus componentes, suas conexões, suas interações e suas influências.

4.3.1 Fatores bióticos

No modelo Gaia aqui proposto, consideramos fatores bióticos duas espécies: a espécie humana cujos indivíduos são atores, e a espécie digital, constituída de conteúdos.

Denominamos atores os usuários que interagem com tecnologias digitais. Atores são, por exemplo, aprendizes, professores, pais, tutores, criadores de conteúdo, engenheiros ou técnicos. Conteúdos são quaisquer tipos de conteúdo digital que possam ser utilizados em contextos educacionais, desde textos, imagens, sons e vídeos, até navegadores, ferramentas de autoria, jogos educacionais, simuladores ou agentes de *software*.

Atores têm atributos que definem o seu perfil e têm características próprias representando seu código genético, tais como conhecimento anterior, fluência digital, motivação, estilo de aprendizagem, preferências e necessidades especiais. Os conteúdos digitais (bióticos) também apresentam atributos que representam seu código genético, como por exemplo tipo de conteúdo, área de aplicação e outros metadados.

Seres digitais bióticos têm propriedades similares a seres vivos:

- (1) nascem quando são inseridos no ecossistema ou quando são criados por atores do ecossistema,
- (2) evoluem quando são criados a partir de outros indivíduos da mesma espécie,

- (3) se comunicam com outros seres digitais e humanos,
- (4) são autônomos quando trocam informações com outros seres e com o ambiente ou quando tomam decisões (agentes inteligentes), e
- (5) morrem quando são obsoletos e não são mais utilizados ou acessados.

Indivíduos da espécie humana têm propriedades similares:

- (1) nascem no ecossistema quando começam a participar do mesmo, interagindo com outros seres da mesma espécie ou da espécie digital,
- (2) evoluem quando seus conhecimentos e interesses mudam,
- (3) se comunicam com outros seres digitais e humanos,
- (4) são autônomos, e
- (5) deixam de existir, sob este ponto de vista, quando param de participar das interações ou se retiram do ecossistema.

Em ambos os casos (de indivíduos da espécie digital e da espécie humana) os atributos dos mesmos são armazenados no ambiente digital. E, quando deixam de existir no ecossistema, continuam ocupando espaço de armazenamento. Portanto, há a necessidade de o ecossistema ter uma propriedade de reciclagem de dados inutilizados.

Seguindo o conceito de níveis de organização apresentado na Seção 3.2.1, sabemos que espécies são organizadas em populações, e populações são organizadas em comunidades. Propomos um modelo com três níveis hierárquicos, que são mostrados na (Tabela 6). No universo da tecnologia digital, atores são usuários que interagem com sistemas digitais. Atores se organizam em populações que podem ser, por exemplo, populações de aprendizes, de professores ou de criadores de conteúdo. Populações são agrupadas em comunidades. A comunidade escolar (professores, gestores e alunos), a comunidade familiar (pais e filhos) e a comunidade de um museu (equipe e

visitantes) são alguns exemplos de comunidades. Como num ecossistema biológico, atores podem formar grupos espontaneamente, podem interagir uns com os outros e com conteúdos, individualmente ou em grupos.

Tabela 6 - Fatores Bióticos: Atores e Conteúdos

NÍVEL DE ORGANIZAÇÃO	FATORES BIÓTICOS	
ESPÉCIES	HUMANA (ATORES)	DIGITAL (CONTEÚDOS)
POPULAÇÕES	Aprendizes, professores, tutores, monitores, agentes educacionais, criadores de conteúdo, membros da família, amigos, engenheiros, técnicos, etc.	Textos, imagens, sons, vídeos, animações
COMUNIDADES	Escolar (professores, gestores e alunos), familiar (pais e filhos), museu (equipe do museu e visitantes), <i>lan-house</i> (usuários e técnicos)	Objetos de aprendizagem, sites e portais Web, ambientes de aprendizagem, ferramentas de autoria, simuladores, jogos.

Alguns grupos de especialistas têm trabalhado na tarefa de especificação de conteúdos para fins de reutilização e de troca (IMS, 2005; LTSC, 2007; ADL, 2004). Dentre as diferentes especificações, SCORM (*Sharable Course Object Reference Model*; ADL, 2004) é a mais amplamente aceita (WANG et al., 2008). A estrutura do SCORM divide conteúdos de aprendizagem em três níveis:

- (a) SA ou *Sharable Assets*: a menor unidade de objeto de aprendizagem, tal como um texto, uma imagem ou um vídeo;
- (b) SCO ou *Sharable Content Objects*: sendo este um SA ou um conjunto de SA empacotados num bloco sobre um assunto específico, uma aula, um curso; e
- (c) conteúdos reorganizados: dependendo das diferentes atividades de aprendizagem, alguns SCOs são organizados em seqüências de aprendizagem (LS ou *Learning Sequence*) que permitem ao ambiente de

aprendizagem guiar os aprendizes para alcançarem seus objetivos educacionais.

No modelo Gaia, não adotamos a especificação SCORM, pois partimos de uma abordagem centrada no aprendiz onde não há pacotes ou seqüências predefinidas de informações, mas onde o ambiente e os conteúdos coexistem de tal forma que o aprendiz interage com os mesmos conforme sua escolha, no seu ritmo e na sua seqüência. Nesta visão, populações de conteúdo se referem a tipos básicos tais como textos, imagens, sons, vídeos e animações. Já as comunidades são conjuntos mais amplos de populações de conteúdos, tais como navegadores, ferramentas de autoria, simuladores ou jogos.

4.3.2 Fatores abióticos

Em um ecossistema biológico, a comunidade depende, para se manter, de vários itens não-vivos denominados fatores *abióticos*, representados pelos componentes físicos e químicos do ambiente. Os fatores *abióticos* afetam diretamente a comunidade e são também por ela influenciados (AMABIS; MARTHO, 2002).

Num Ecossistema Digital de Aprendizagem, consideramos que as tecnologias e as teorias pedagógicas são fatores abióticos pois compõem o ambiente do ecossistema e constituem o meio no qual ocorrem as interações entre atores e conteúdos. São as tecnologias que permitem e apóiam as interações, e são as teorias pedagógicas que norteiam a forma de interação. Na Tabela 7 há exemplos de tecnologias (*hardware*, *software*, bancos de dados e rede) e teorias de aprendizagem que constituem os fatores abióticos no modelo Gaia (Figura 16).

Tabela 7 - Fatores Abióticos: Tecnologias e Teorias Pedagógicas

TECNOLOGIA	DESCRIÇÃO
HARDWARE	<i>Desktop, Laptop, Tablet PC, PDA, Telefone celular</i>
SOFTWARE	Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Simulação, Inteligência Artificial, <i>game engine</i>
BANCO DE DADOS	Relacional, Orientado a Objetos
REDE	LAN, WAN, WIFI, Redes sem fio
TEORIAS PEDAGÓGICAS	Construtivista, Construcionista, Colaborativa

Há seres digitais que são bióticos, pertencentes à espécie digital, e há tecnologias digitais, pertencentes ao ambiente.

Uma tecnologia digital abiótica tem a função de apoiar as interações no ecossistema e se refere a equipamentos, software básico (sistema operacional), tecnologias de rede e tecnologias básicas (Realidade Virtual, simulação). Estas tecnologias são inseridas no ecossistema, ou removidas do mesmo, por seres humanos. Elas não nascem, não crescem, não evoluem, não se transformam, não têm autonomia. Elas são o suporte para as interações dos indivíduos das espécies humana e digital.

4.3.3 Habitat e nicho ecológico

O habitat corresponde ao espaço físico e à estrutura do meio ambiente no qual vivem populações de uma ou mais espécies. Num ecossistema digital de aprendizagem, o habitat se refere ao espaço físico de uma comunidade. Numa comunidade escolar, por exemplo, o habitat corresponde à escola junto com suas

salas de aula, seus móveis e materiais didáticos, no caso de um museu, corresponde ao espaço físico do mesmo, e no caso de uma comunidade familiar, o habitat é a própria casa.

O nicho ecológico é a capacidade do organismo de ocupar seu habitat e a capacidade da espécie de cumprir sua função no ecossistema (AMABIS; MARTHO, 2002). Num ecossistema escolar, o professor tem a função de catalisador da aprendizagem, já num ecossistema de um museu, o monitor que é quem acompanha os visitantes tem o papel de facilitador da aprendizagem.

Nesta descrição do modelo de Ecossistema Digital de Aprendizagem, optamos por trabalhar inicialmente com espécies: atores e conteúdos, a fim de poder representar os suas características num nível mais alto de abstração. Mas, ao detalhar as conexões, as interações e as influências, trabalharemos com populações para poder retratar todas as possíveis conexões internas ao ecossistema.

4.3.4 Interações

Apresentamos aqui alguns diagramas com o objetivo de auxiliar a aplicação do modelo por meio de representações gráficas.

Na Tabela 8 listamos a notação adotada identificando os símbolos utilizados nos diagramas e seu significado.

Tabela 8 - Símbolos e seu significado nos diagramas do modelo Gaia

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
Fatores bióticos podendo ser espécie, população ou comunidade.
Interação mono-direcional entre fatores bióticos. Direção da seta representa a direção do fluxo de informação.
Interação bidirecional entre fatores bióticos. Informação flui entre fatores nos dois sentidos.
Relação de dependência. Origem da seta representa fator dependente, destino da seta representa fator de dependência.
Fatores abióticos e meio ambiente.
Banco de dados

As interações devem ser detalhadas para definir quais componentes são ligados a outros, se a conexão é direta ou indireta ou se há uma estrutura hierárquica baseada na força das conexões.

O primeiro diagrama apresentado é o diagrama de fatores bióticos e suas interações (Figura 14). Neste diagrama estão representados os atores (espécie humana) e os conteúdos (espécie digital) e suas possíveis interações.

Figura 14 - Fatores bióticos e suas interações

Acreditamos que há, num ecossistema digital de aprendizagem, algumas formas de interação entre fatores bióticos. Elas são representadas por setas na Figura 14, onde o sentido da seta representa o fluxo de informação. A Tabela 9 descreve as diferentes formas de interação, onde o número da coluna 'Tipo' corresponde ao número da seta na Figura 14. Uma das características deste modelo é a representação de atores como produtores e consumidores de conteúdo: produtores nas interações de tipo (2) quando atores criam conteúdos, consumidores nas interações de tipo (1) quando atores recebem a transmissão de conteúdos nos seus equipamentos digitais.

Em sistemas ecológicos, as interações ou conexões entre componentes, influenciam a dinâmica das populações, a taxa de mudança na quantidade de indivíduos das mesmas. Isto também ocorre no Ecossistema Digital de Aprendizagem. Nas interações de tipo (2), atores criam conteúdos, portanto aumentam a população dos mesmos.

Tabela 9 - Formas de interação entre fatores bióticos

FORMAS DE INTERAÇÃO		
TIPO	INTERAÇÃO	DESCRIÇÃO
(1)	Exibem	Ocorre quando informações são enviadas do conteúdo para o ator. Ela ocorre quando o conteúdo é exibido (visual), quando o conteúdo é tocado (sonora) e quando é simulado (tátil).
(2)	Criam	Acontece quando um ator utiliza uma ferramenta de autoria e cria conteúdos, aumentando sua população.
(3)	Interagem	Ocorre quando um ator utiliza um sistema que permite formas simples de interação, quando a interação do usuário provoca uma mudança de estado do conteúdo, por exemplo, quando o usuário navega por uma animação, ou um mundo virtual.
(4)	Colaboram	Esta forma de interação corresponde à interação entre atores.
(5)	Cooperam	Interação entre componentes de software, agentes inteligentes, por exemplo.

As interações entre atores podem ser refinadas, pois em Ecossistemas Digitais de Aprendizagem a comunidade de atores pode ser constituída de diferentes populações. Em um ambiente escolar, para exemplificar, onde professores e alunos interagem com objetos de aprendizagem digitais, há duas populações envolvidas: a população de professores e a população de alunos. Neste caso, a interação do tipo (4) pode ser refinada em interações entre a população de atores da mesma espécie (aprendizes, por exemplo) ou populações de atores de espécies diferentes (alunos e seus professores) (Figura 15). O resultado destas interações pode ser desde a simples troca de informações até a colaboração para a resolução de problemas ou a criação conjunta de conteúdos.

Figura 15 - Detalhamento da interação entre atores

Com isto, uma interação de tipo (4) pode ser uma interação entre atores da mesma população (4a) ou uma interação entre atores de populações diferentes (4b) (Tabela 10).

Tabela 10 - Formas de Interação entre Atores

FORMAS DE INTERAÇÃO ENTRE ATORES		
TIPO	INTERAÇÃO	DESCRIÇÃO
(4a)	Colaboração Intra-especie	Interação entre atores da mesma população.
(4b)	Colaboração Inter-especie	Interação entre atores de populações diferentes.

A Figura 16 representa os fatores bióticos do ecossistema.

Figura 16 - Fatores bióticos

E a Figura 17 representa o diagrama do Modelo Gaia com seus os fatores bióticos, os fatores abióticos e suas interações.

Figura 17 - Modelo Gaia

4.3.5 Escalas espaciais e temporais

Processos e estruturas ecológicas têm dimensões de tempo e espaço, denominados escalas (Seção 3.2.8). A escala espacial refere-se à extensão espacial definida e limitada. No caso de um ecossistema digital de aprendizagem as fronteiras físicas ou lógicas do mesmo devem ser definidas tanto para delimitar o escopo quanto para identificar as influências externas e internas ao ecossistema, pois estas alteram o comportamento do sistema e de seus componentes. Numa comunidade escolar, por exemplo, onde o habitat das populações envolvidas é a escola, o ecossistema pode focar, no laboratório de informática, as populações, as tecnologias e as interações que ocorrem no seu espaço físico do laboratório.

Influências no ecossistema têm, sejam elas internas ou externas, impacto na dinâmica do mesmo, mas também nas populações e suas interações. A delimitação das fronteiras permite levantar e, às vezes, prever as influências e suas conseqüências no ecossistema. Do ponto de vista dos atores, as influências internas são a evolução do conhecimento, dos objetivos educacionais, tarefas de

aprendizagem, e do ponto de vista dos conteúdos, são, entre outras, alterações na usabilidade do acesso. Uma influência externa pode ser uma mudança nos parâmetros curriculares, por exemplo, que recomende a inclusão de música no ensino básico. Esta influência externa ao ecossistema do laboratório de informática aumentará as interações com novos conteúdos de educação musical. Neste mesmo caso, uma mudança na tecnologia de rede, de conexão discada para banda larga, por exemplo, representa uma influência interna e como consequência, aumentará as interações com conteúdos pesados como vídeos.

E, no caso de escala temporal, a maneira como os organismos e as populações respondem às mudanças nos seus ambientes depende da variação temporal. No exemplo, as variações na comunidade escolar têm a dimensão do ano letivo.

Ao definir um ecossistema digital de aprendizagem, devem ser delimitadas suas fronteiras físicas, levantadas as possíveis influências internas e externas e determinada a sua escala temporal.

4.3.6 Condições de contorno

As condições de contorno de um ecossistema referem-se a princípios que regulam o comportamento de seus componentes. Um Ecossistema Digital de Aprendizagem tem o propósito de apoiar a aprendizagem ao permitir interações entre atores e conteúdos por meio do ambiente digital. As condições de contorno devem ser tais que o ecossistema continua vivo.

Acreditamos que para manter o ecossistema de aprendizagem vivo é preciso manter as populações estáveis e estimular as interações, ou buscar o crescimento populacional tanto de atores como de conteúdos e o aumento das interações. Definimos as condições de contorno de um ecossistema digital de aprendizagem como: estabilidade ou crescimento de populações de atores, estabilidade ou crescimento de populações de conteúdos, crescimento do volume

de interações. Ao modelar uma ferramenta de aprendizagem utilizando o modelo Gaia é estabelecida uma taxa de crescimento ao longo do tempo, a fim de poder dimensionar os requisitos tecnológicos dos fatores abióticos, tais como tamanho de banco de dados e banda de rede. Ocorrendo uma superpopulação, o ecossistema chega à saturação e será necessário fazer um redimensionamento dos fatores abióticos para atender à demanda das populações.

4.3.7 Relações de dependência

As condições de contorno nos levam a identificar relações de dependência (Figura 18) que podem gerar influências internas ao ecossistema. O crescimento populacional de atores e conteúdos depende, de acordo com uma taxa estimada, diretamente de bancos de dados, que devem ser dimensionados para comportar uma projeção futura de tamanho de populações. Já as interações dependem de tecnologias de rede disponíveis, pois na ausência das mesmas todas as interações acontecem num único equipamento e na presença de tecnologias de rede local ou a distância, sendo que estas suportam as interações em equipamentos fisicamente situados no mesmo local ou geograficamente distribuídos. Nestes casos, a largura da banda pode ser estimada para suportar o tráfego de informações trocadas nas interações. Na Figura 18 as relações de dependências de tecnologias de rede estão representadas.

Figura 18 - Relações de dependência no modelo Gaia

4.4 REQUISITOS

A análise de requisitos consiste em trabalhar junto com os usuários para verificar suas necessidades e descrever com precisão, por meio de discussões, acerca da ferramenta a ser desenvolvida, as funcionalidades a partir de um estudo exploratório de suas necessidades (Seção 2.1). No caso de uma aplicação educacional, não basta se limitar a detalhar os processos e os fluxos de entrada e saída, devem ser levados em conta aspectos pedagógicos, componentes, dinâmicas e inter-relações.

Alguns autores têm sugerido alternativas à análise de requisitos tradicional (ANDRADE et al., 2001; GOMES; WANDERLEY, 2003; CRUZ NETO et al., 2003; BASSANI et al., 2006; MORAES, 2007; LACERDA, 2007), pois para todos, uma ferramenta educacional tem características específicas e os requisitos vão além do contexto imediato de uso. Entrevistas com usuários, observações, prototipações ou desenvolvimento participativo são algumas das sugestões, que levam a criação de casos de uso que atendem às necessidades dos usuários

(Seção 2.1). No entanto, as alternativas propostas se resumem a sugestões e recomendações gerais.

A análise de requisitos de uma ferramenta educacional parte das necessidades de seus usuários: professores e aprendizes. As necessidades dos professores são os paradigmas educacionais por eles adotados, já as necessidades dos aprendizes se referem ao seu contexto e perfil.

A Tabela 11 lista a relação entre paradigmas educacionais, o contexto e perfil do novo aprendiz e os requisitos de autoria, colaboração, imersão e mobilidade.

Tabela 11 - Requisitos de aprendizes e professores

CONTEXTO E PERFIL DO APRENDIZ	REQUISITO	PARADIGMAS EDUCACIONAIS
Pensamento não-Linear (Lévy, Fagundes)	AUTORIA	Construtivismo (Piaget)
		Construcionismo (Papert)
		Estímulo à criatividade (Resnick, Lopes)
		Aprendiz protagonista (Piaget, Papert, Freire)
Comunicação (mensagens instantâneas e de texto, e-mails)	COLABORAÇÃO	Aprendizagem colaborativa (Vygotsky)
Comunidades digitais (Orkut, Myspace)		
Nativo digital (multitarefa, conectado, divertido, videogame) (Prensky)	IMERSÃO	
Disseminação de tecnologias digitais (Prensky, Oblinger, CETIC)	MOBILIDADE	Aprendizagem em espaços formais e informais

Partimos de paradigmas educacionais atuais e consolidados por meio dos quais a abordagem da educação é centrada no aprendiz que constrói o seu conhecimento interagindo com o professor, com outros alunos e com o objeto de estudo. Construtivismo, construcionismo, estímulo à criatividade e aluno protagonista de sua aprendizagem, nos levaram ao requisito que se refere ao aspecto de autoria, pois estes paradigmas defendem a importância do aluno em desempenhar o

papel de autor para construir sua aprendizagem. Já a construção do conhecimento que ocorre na interação social do indivíduo, denominada aprendizagem colaborativa reflete o requisito de colaboração. E a aprendizagem em espaços formais e informais nos traz o requisito de mobilidade, pois tanto a mobilidade das tecnologias quanto a mobilidade do aprendiz contribuem para experiências de aprendizagem em espaços diversificados.

Na visão da aprendizagem centrada no aluno, o contexto e perfil do novo aprendiz nos levam a definir os requisitos para atender as suas necessidades (Seção 2.2). Uma aplicação com estrutura rígida e dados ordenados em seqüências pré-definidas não atende ao usuário que tem pensamento não linear. Do contrário, ambientes de autoria por meio dos quais o aprendiz cria conteúdos delegam o controle aos mesmos. As necessidades que o novo aprendiz tem de se comunicar por meio de tecnologias digitais e de participar de comunidades virtuais, levam a aspectos de colaboração de ferramentas educacionais. Para nativos digitais acostumados ao mundo de fantasia de seus *videogames* a imersão em ambientes digitais é natural e necessária para o envolvimento dos mesmos com objetos de estudo. Trata-se de um atrativo que já faz parte de seu universo e que eles consideram um padrão natural para motivá-los a interagir com conteúdos digitais. A ampla disseminação de tecnologias digitais e o crescente acesso às mesmas possibilitam a interação com ferramentas digitais em uma grande diversidade de espaços físicos, o que do ponto de vista do aprendiz o torna um aprendiz móvel. Considerando que o aprendiz circula entre ambientes diferentes interagindo com tecnologias diferentes, o requisito de mobilidade se faz necessário.

Porém, não basta limitar-se a atender estes requisitos, é necessário criar ferramentas educacionais que fomentem a motivação para a aprendizagem, assim como atitudes de abertura e curiosidade, necessárias para participar de um mundo permanentemente em mudança. As condições de contorno do Ecossistema Digital de Aprendizagem que consiste no crescimento de suas populações e no aumento das interações, devem ser atendidas.

4.5 FUNÇÕES META E ESTÁGIOS DE MATURIDADE

Em sistemas biológicos, uma das formas de medir o estágio de amadurecimento de um ecossistema é avaliar suas propriedades emergentes, quantificadas pelas funções meta que servem de indicadores de qualidade do ecossistema (Seção 3.2.10). Neste sentido, definimos quatro funções meta para ecossistemas digitais de aprendizagem: autoria, colaboração, imersão e mobilidade e apresentamos a Tabela 12 que mostra a correspondência entre as funções meta e estágios de maturidade de ecossistemas.

Tabela 12 - Funções meta e estágios de maturidade

FUNÇÃO META	EM DESENVOLVIMENTO	MADURO
AUTORIA	Limitada (interação simples)	Completa (criação de conteúdos)
COLABORAÇÃO	Inexistente	Intra e inter populações
IMERSÃO	Parcial	Total
MOBILIDADE	Da tecnologia	Do aprendiz

Em um Ecossistema Digital de Aprendizagem as populações de atores e conteúdos não são fixas, mas em constante mudança, portanto as funções meta podem servir para avaliar se o ecossistema está em estágio de desenvolvimento ou se alcançou estágio maduro. Em um sistema em desenvolvimento, a autoria é limitada a interações simples com conteúdos, não há possibilidade de colaboração entre atores, a imersão nos ambientes é parcial e a mobilidade é tratada do ponto de vista da mobilidade da tecnologia. E, ao passar o tempo, quando as populações de atores e conteúdos se transformam e evoluem, o ecossistema amadurece. Neste caso, os atores criam conteúdos - considerado

uma autoria completa - onde todas as populações podem colaborar por meio do sistema, a imersão nos ambientes é total e a mobilidade é proposta do ponto de vista da mobilidade do aprendiz.

Detalhamos nas seções abaixo cada uma das funções meta e sua representação no modelo Gaia.

4.5.1 Autoria

Na Seção 2.5 discutimos a importância da criatividade e da autoria. Acreditamos que Ecossistemas Digitais de Aprendizagem devam estimular as interações, e a produção de conteúdos, possibilitando o desenvolvimento da criatividade do aluno, pois a aprendizagem não ocorre com a simples transmissão de informação do professor para o aluno.

Simulações que projetam animações para serem visualizadas pelos usuários são ferramentas poderosas que podem ilustrar explicações estáticas através de imagens, movimentos e sons distribuídos num espaço de tempo. Neste caso, conteúdos são exibidos nas telas dos atores, sem haver espaço para autoria dos mesmos.

O aprendiz é protagonista do seu processo de aprendizagem quando ele tem a possibilidade de criar e ser autor de conteúdos, assim poderá construir seu conhecimento de forma ativa e participativa. Ferramentas de autoria como editores de textos, imagens, sons, animações ou vídeos são essenciais para apoiar este processo, e são representados no modelo de Ecossistemas com interações de tipo (2) (Figura 19).

Por meio de simulações, há também a possibilidade de realizar outros tipos de interações que ocorrem em ferramentas de autoria quando o usuário cria uma sequência de comandos, simula a sequência e visualiza o resultado (Figura 19 interação (3)) em um ciclo repetitivo. Ambientes de programação, sejam eles por

exemplo editores HTML ou editores de outras linguagens, apóiam atividades de criação, simulação e correção, em ciclos iterativos. Estes ciclos repetitivos de criação-simulação são formas efetivas de construir conhecimento e aprender a aprender (Resnick, 2006; Resnick, 2007). Interações de tipo (3) representam situações onde o ator interage com conteúdo e provoca mudanças no seu estado.

Figura 19 - Autoria em Ecosystemas Digitais de Aprendizagem

A tecnologia inserida no processo de ensino-aprendizagem pode potencializar atividades criativas e apoiar a autoria dos alunos, colocando-os no papel de protagonistas e de produtores de conteúdos. Portanto, é fundamental que um Ecosystema Digital de Aprendizagem busque implementar interações do tipo (2) e (3) (Figura 19). Quando há apenas interações de tipo (3), a função meta de autoria indica um ecosystema em estágio de desenvolvimento, e quando ambos os tipos são implementados, o ecosystema é considerado maduro (Tabela 12).

4.5.2 Colaboração

As interações do aprendiz com o objeto de estudo e suas interações com seus pares e outras populações são as bases que nortearam a definição de Ecossistema Digital de Aprendizagem. As interações entre populações de atores, detalhadas na seção 4.3.4 são fundamentais para o processo de aprendizagem e referem-se a formas de colaboração entre diferentes atores. Populações de atores podem ser professores, pais, tutores ou aprendizes. A colaboração apoiada por mídias digitais ocorre quando há interação entre atores da mesma população (Figura 20 interação (4a)) ou quando há interação entre atores de populações diferentes (Figura 20 interação (4b)).

Figura 20 - Colaboração entre populações no modelo Gaia

É importante que as interações entre populações de atores sejam analisadas à luz da categorização de Ellis et al. (2001), pois hoje as infra-estruturas tecnológicas disponíveis não garantem conexão contínua a uma rede local, tampouco a uma rede de longa distância. O mapeamento dos serviços oferecidos por um Ecossistema Digital de Aprendizagem na tabela de Ellis identificará *quando* e *onde* será possível interagir com outros atores. Quando o ecossistema não permite colaboração entre atores, a função meta de colaboração indica um estágio de sistema em desenvolvimento, e quando há a possibilidade de interação

entre todas as populações de atores, o sistema é considerado maduro (Tabela 12).

4.5.3 Imersão

Quanto à imersão, segundo Zuffo (2001a), a imersão é a sensação de estar completa ou parcialmente presente num ambiente gerado por computador, sensação gerada por canais multi-sensoriais: visão, audição e tato.

Na Seção 2.7 destacamos o uso de tecnologias inovadoras para a criação de ambientes de aprendizagem imersivos. Apresentamos aqui a relação entre interações em Ecossistemas de Aprendizagem e imersão.

No modelo de Ecossistema proposto, as características de imersão são atributos que se referem às interações de tipo (1) (Figura 21) quando conteúdos são transferidos para os atores, e às interações de tipo (3) (Figura 21) que ocorrem quando atores utilizam sistemas interativos e provocam mudanças nos conteúdos exibidos por meio de suas atuações.

Figura 21 - Imersão em Ecossistemas Digitais de Aprendizagem

A imersão pode ser proporcionada por estímulos visuais, sonoros ou táteis. No modelo proposto, estes estímulos são uma especificação da transferência de conteúdos para os atores, que pode ser a exibição de imagens, a reprodução de sons, simulação de realimentação de força (*force feedback*) ou a ambientação por mudança de temperatura, umidade, vento.

Ao examinar a imersão proporcionada por um Ecossistema Digital de Aprendizagem do ponto de vista da visão, sugerimos examinar a forma de representação das imagens, sejam elas bidimensionais, tridimensionais, estereoscópicas, bem como a amplitude do campo de visão do usuário. Um usuário utilizando um sistema de Caverna Digital com 5 faces e projeção tridimensional estereoscópica (imersão total) terá uma sensação de imersão maior do que um usuário navegando por um ambiente tridimensional projetado numa tela de computador (imersão parcial).

Do ponto de vista da audição, a reprodução de sons em único canal (imersão parcial), em dois ou cinco canais, e a reprodução de som estéreo ou espacializado (imersão total), irão proporcionar imersão sonora em diferentes níveis. Trilha musical apropriada e efeitos sonoros são outras formas de criar a sensação de imersão no ambiente reproduzido pelo computador.

Acreditamos que durante a concepção de ferramentas digitais de aprendizagem, é importante especificar os estímulos sensoriais que serão suportados pela ferramenta, bem como suas características.

4.5.4 Mobilidade

Ao examinar, por um lado, a análise da evolução da sociedade proposta por Resnick (2006) (Figura 4) e, por outro, as tecnologias móveis começando a ser inseridas em ambientes educacionais, propomos a ampliação da definição: de sociedade da criatividade para a sociedade da criatividade e da mobilidade

(Figura 22). Isto porque a tecnologia móvel trouxe à sociedade de nativos digitais a possibilidade de aprender em *qualquer lugar* e a *qualquer momento*: é a sociedade dos *aprendizes nômades*.

Figura 22 - Ampliação da evolução da sociedade proposta por Resnick (2006)

O desenvolvimento de ferramentas de aprendizagem que apóiam experiências em aprendizagem móvel tem sido o objeto de muitos grupos de estudo (LIN, 2004; NAISMITH ET AL., 2004; CHAN ET AL., 2005; CORLETT ET AL., 2005; MEIRELLES ET AL., 2005). A sistematização das características destas ferramentas em ecossistemas pode ajudar a analisar como elas apóiam a mobilidade do aprendiz. Ao examinar os atores no Ecossistema Digital de Aprendizagem acima introduzido, do ponto de vista da mobilidade e, levando em conta as novas visões da aprendizagem móvel, apresentadas na Seção 2.8, o modelo permite explorar a mobilidade nos espaços físicos e a mobilidade nos espaços sociais. Já focando nos conteúdos, o modelo de ecossistema investiga a mobilidade nos espaços conceituais (Tabela 13) (FICHEMAN; LOPES, 2008b).

Tabela 13 - Estudo da mobilidade em fatores bióticos

FATORES BIÓTICOS		
ESPÉCIES	HUMANA (ATORES)	DIGITAL (CONTEÚDOS)
POPULAÇÕES	Aprendizes, professores, tutores, engenheiros, técnicos, etc.	Textos, imagens, sons, vídeos, animações
COMUNIDADES	Escolar, familiar, museu, <i>lan-house</i>	Navegadores, ferramentas de autoria, jogos, agentes de <i>software</i>
APRENDIZAGEM MÓVEL	Mobilidade em Espaços Físicos Mobilidade em Espaços Sociais	Mobilidade em Espaços Conceituais

No Ecossistema Digital de Aprendizagem proposto, as tecnologias e as teorias educacionais formam o meio ambiente, por meio do qual ocorrem as interações entre comunidades de atores e conteúdos. Diferentes tecnologias permitem acessar diferentes conteúdos e apóiam diferentes tipos de interações. Do ponto de vista da aprendizagem móvel, o estudo das tecnologias de *hardware*, *software* e de rede permite examinar a mobilidade de diferentes aspectos: mobilidade da tecnologia, mobilidade nos espaços conceituais e mobilidade nos espaços físicos (Tabela 14).

A classificação das tecnologias de *hardware* e de rede contribui para esclarecer como estas influenciam experiências de aprendizagem, assim como sua importância na mediação das interações. Apresentamos aqui uma sugestão de classificação destas tecnologias do ponto de vista da aprendizagem móvel, e identificamos como o estudo de cada tipo permite examinar a mobilidade sob diferentes aspectos: mobilidade do espaço físico, mobilidade do espaço conceitual, mobilidade do espaço social e mobilidade da tecnologia.

Tabela 14 - Estudo da Mobilidade em Fatores Abióticos

TECNOLOGIA	DESCRIÇÃO	APRENDIZAGEM MÓVEL
HARDWARE	<i>Desktop, Laptop, Tablet PC, PDA, Telefone celular</i>	Mobilidade da Tecnologia
SOFTWARE	Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Simulação, Inteligência Artificial	Mobilidade em Espaços Conceituais
REDE	LAN, WAN, WIFI	Mobilidade em Espaços Conceituais Mobilidade em Espaços Físicos Mobilidade da Tecnologia

A classificação das tecnologias de *hardware* em relação à aprendizagem móvel foram discutidas na Seção 2.8 com a apresentação da representação de tecnologias em dois eixos principais pessoal-compartilhado e portátil-estático (NAISMITH et al., 2004).

Quanto à classificação de tecnologias de *software*, acreditamos que estas não têm direta influência nas atividades de aprendizagem móvel, pois podem ser utilizadas em espaços físicos variados, com equipamentos diferentes e tecnologias de rede disponíveis.

No entanto, ferramentas de aprendizagem apóiam diretamente atores em suas interações com conteúdo, pois a interface do usuário é responsável por estas interações. Sugerimos aqui uma classificação do acesso às tecnologias segundo dois aspectos: espaço físico e espaço de tempo. O espaço físico pode ser fixo (*indoor*) ou flexível (*outdoor*); o espaço de tempo refere-se à disponibilidade de acesso, sendo este limitado ou ilimitado como mostrado na Tabela 15, onde mapeamos as pesquisas de aprendizagem móvel de acordo com estes dois aspectos (FICHEMAN; LOPES, 2008b).

Tabela 15 - Classificação de acesso às tecnologias e sua relação com aprendizagem móvel

Espaço Físico Tempo	FIXO (INDOOR)	FLEXÍVEL (OUTDOOR)
LIMITADO	(A) Mobilidade em Espaços Sociais	(B) Mobilidade em Espaços Físicos Mobilidade da Tecnologia
ILIMITADO	(C) Mobilidade em Espaços Conceituais Mobilidade em Espaços Sociais	(D) Mobilidade em Espaços Físicos Mobilidade em Espaços Conceituais Mobilidade em Espaços Sociais Mobilidade da Tecnologia

Uma exposição interativa num museu, por exemplo, apóia experiências de aprendizagem que ocorrem em um espaço físico fixo, num espaço de tempo limitado (Tabela 15-A). Um bate papo virtual com especialista refere-se à uma atividade que ocorre em espaços físicos diferentes (participantes distribuídos), durante um tempo limitado (Tabela 15-B). Um quiosque pode disponibilizar o acesso a conteúdos diferentes por tempo ilimitado (Tabela 15-C). Um sistema LMS (*Learning Management System*) é uma ferramenta acessada de espaços físicos diferentes, em tempos diferentes (Tabela 15-D).

Quanto às tecnologias de rede, estas compõem o ambiente que apóia as interações entre atores e entre atores e conteúdos e permitem que atores interajam e colaborem utilizando mídias digitais em diferentes espaços conceituais (Tabela 16).

Tabela 16 - Mobilidade da Tecnologia de Rede

REDE	ESPAÇO FÍSICO	TECNOLOGIA	APRENDIZAGEM MÓVEL
LAN	Mesmo	Fixa	Mobilidade em Espaços Conceituais
WAN	Diferente	Móvel	Mobilidade em Espaços Conceituais Mobilidade em Espaços Físicos
WIFI e outras tecnologias sem fio	Diferente	Móvel	Mobilidade em Espaços Conceituais Mobilidade em Espaços Físicos Mobilidade da Tecnologia

As interações entre atores e conteúdos são alteradas na presença ou ausência de tecnologias de rede, pois estas permitem ou não acessar conteúdos remotos. Em uma rede local (*LAN – Local Area Network*), por exemplo, usuários podem interagir com conteúdos armazenados em diferentes equipamentos, fisicamente ligados por tecnologias de rede, permitindo acesso a diferentes tipos de conteúdo, portanto mobilidade em espaços conceituais. Por outro lado, uma rede de longa distância (*WAN – Wide Area Network*) disponibiliza o acesso a conteúdos remotos, e com isto um usuário que se desloca de um espaço físico ao outro (com acesso a rede *WAN*) pode acessar os conteúdos de espaços físicos diferentes, o que implica mobilidade em espaços físicos. O surgimento das tecnologias sem fio aliadas às tecnologias de longa distância vêm aumentando a mobilidade alcançada quando atores com equipamentos móveis (*laptops, PDAs, telefones celulares*) acessam conteúdos remotos enquanto se movimentam entre locais diferentes. A Tabela 16 sintetiza a nossa visão de como diferentes tecnologias de rede podem apoiar diferentes experiências de aprendizagem móvel, mostra como redes de longa distância expandem o suporte à mobilidade de redes locais e como as redes sem fio têm aumentado o leque de aspectos de mobilidade acrescentando a mobilidade da tecnologia (FICHEMAN; LOPES, 2008b).

Num ecossistema em desenvolvimento, o aprendiz circula com tecnologia móvel e interage com ferramentas digitais. Já num ecossistema maduro, a mobilidade se refere à mobilidade do aprendiz que se desloca entre espaços físicos, sociais e conceituais, interagindo com conteúdos digitais.

4.6 COMPARAÇÃO COM OUTROS MODELOS

Para alguns autores, um ecossistema digital é constituído apenas por espécies digitais com suas conexões, relações e dependências, agrupadas em comunidades, participando e se beneficiando de um ambiente digital (HAZDIC et

al., 2007; UDEN; DAMIANI, 2007). Para estes, um indivíduo da espécie digital pode ser um equipamento ou uma aplicação. Um conhecimento, um serviço ou qualquer idéia digitalizada e transportada no ecossistema também pertence à espécie digital (UDEN; DAMIANA, 2007).

Para outros, há uma espécie humana que interage com o ambiente digital. Fatores bióticos são participantes humanos que incorporam a cadeia de processo de aprendizagem (professores, alunos, gestores educacionais), e fatores abióticos consistem das ferramentas de aprendizagem, ambos limitados pelas fronteiras ambientais (CHANG; GUETL, 2007).

Para outros ainda, uma escola é um ecossistema onde convivem espécie humana (professores, alunos, pais, gestores) e espécie digital (computadores). O ambiente é constituído pelo espaço físico, laboratórios de informática, livros e outros materiais. Professores são espécies chave, e inovações educacionais que utilizam os meios digitais são espécies exóticas (ZHAO; FRANK, 2003).

Alguns modelos apresentados na literatura têm por objetivo servir de base para o desenvolvimento de novos Ecossistemas Digitais de Aprendizagem (HAZDIC et al., 2007; UDEN; DAMIANI, 2007; CHANG; GUETL, 2007) e, com isto, é sugestivo que o resultado seja mais eficiente e bem sucedido. Outra visão é a utilização dos modelos de Ecossistema Digital de Aprendizagem para analisar e examinar sistemas já existentes (ZHAO; FRANK, 2003; CHANG; GUETL, 2007).

Os autores da bibliografia consultada buscaram na abordagem ecológica uma visão holística de sistemas dinâmicos em constante evolução. E as pesquisas relatadas transportam uma ou outra característica de sistemas biológicos para ambientes digitais, por vezes apenas espécies interagindo num ambiente, por vezes chegam à descrição de habitat e nichos ecológicos, de espécies chave ou da inserção de uma espécie exótica.

No entanto, a comunidade científica ainda está procurando uma definição clara, detalhada e acordada de Ecossistema Digital de Aprendizagem. Os relatos da literatura são o princípio desta busca e apresentam uma pincelada de recomendações, *frameworks* ou modelos que não chegam a um nível de

detalhamento suficiente para serem utilizados em outras situações, tampouco apresentam artefatos concretos para sua aplicação.

Modelos para o desenvolvimento de novos Ecossistemas Digitais de Aprendizagem ainda não foram aplicados a estudos de caso, nem posteriormente comparados a outros modelos para demonstrar sua eficiência. Apenas o relato de Zhao e Frank (2003), quando da utilização do modelo proposto por eles para analisar o que acontece num ecossistema escolar tem um levantamento de dados em situação real de uso, que comprova a utilidade do modelo.

Este trabalho também procurou nos sistemas ecológicos e nas suas características uma visão holística para ferramentas digitais de aprendizagem. O modelo Gaia foco desta pesquisa representa uma ferramenta digital dentro do seu contexto de uso, junto com atores, conteúdos, interações e ambiente digital. Igualmente a Chang e Guetl (2007), a proposta deste trabalho tem por objetivo apresentar um modelo que possa servir tanto no desenvolvimento de ferramentas digitais como na análise de ferramentas existentes. E, diferentemente de outros modelos de Ecossistemas Digitais de Aprendizagem, no modelo Gaia há duas espécies: a espécie humana (os atores) e a espécie digital (os conteúdos) interagindo no ambiente digital que apóia as interações por meio das tecnologias e dos paradigmas educacionais, e no qual o habitat das espécies corresponde ao ambiente físico. Funções meta foram definidas para avaliar o estágio de maturidade do ecossistema. Artefatos como diagramas e tabelas foram criados para facilitar a aplicação do modelo.

4.7 CONCLUSÃO

Neste capítulo apresentamos uma definição e um modelo de Ecossistema Digital de Aprendizagem, detalhamos suas características, seus componentes, suas relações, suas condições de contorno, funções meta e estágios de maturidade.

A definição e o modelo propostos foram comparados a outras definições e outros modelos encontrados na literatura.

5 ESTUDOS DE CASO

O objetivo principal deste capítulo é avaliar a aplicabilidade da definição e do modelo propostos no capítulo anterior como instrumentos de análise de ferramentas digitais de aprendizagem existentes. São apresentados alguns estudos de caso nos quais a definição e o modelo propostos foram aplicados. Inicialmente, com auxílio da definição de Ecossistema Digital de Aprendizagem, analisamos duas ferramentas: Wikipedia e Orkut e, em seguida, aplicamos o modelo Gaia em dois exemplos de ferramentas educacionais recentemente desenvolvidas pela autora junto com a equipe do NATE (Núcleo de Aprendizagem, Trabalho e Entretenimento), com o objetivo de analisá-las à luz do modelo proposto.

5.1 WIKIPEDIA E ORKUT

Ao pensarmos em ambientes colaborativos onde usuários contribuem espontaneamente com conteúdos e formam comunidades, surge imediatamente a dúvida: Wikipedia (Wikipedia, 2008) e Orkut (Orkut, 2008) são Ecossistemas Digitais de Aprendizagem? Utilizamos a definição proposta no capítulo anterior para responder a esta pergunta e, para isto, descrevemos os fatores bióticos, os fatores abióticos e as interações entre os mesmos, além de especificar sua extensão espacial em termos de suas fronteiras como recomendado por Pickett e Cadenasso (2002).

Amplamente conhecida e com um número elevado de usuários, a Wikipedia é uma enciclopédia virtual escrita em hipertexto de forma colaborativa por muitos leitores. Os conteúdos da enciclopédia são continuamente alterados e

atualizados, enquanto as mudanças são mantidas no histórico dos artigos. Qualquer internauta pode editar o conteúdo de quase todos os artigos. Iniciada em janeiro de 2001 em inglês, a versão inicial possuía quase 10.000 artigos após um ano de lançamento, e hoje conta com 7,5 milhões de verbetes. O ambiente oferece ainda a possibilidade de editar conteúdos escritos por outros colaboradores e de discutir, por meio do sistema, os assuntos abordados na enciclopédia.

A Wikipedia é um ambiente aberto e descentralizado, característica própria de ecossistemas. Ao observar a Wikipedia sob o olhar de Ecossistema Digital de Aprendizagem, percebemos que os fatores bióticos pertencem a duas espécies: espécie humana (os usuários) e espécie digital (verbetes e artigos). Estes podem sofrer mutação ou evoluir ao serem copiados e editados por indivíduos da espécie humana. Alguns verbetes são mais ajustados (*fit*), mais acessados e mais atualizados. Outros, impróprios, desaparecem ou morrem ao serem excluídos do ambiente. Quanto aos indivíduos da espécie humana, estes participam do ecossistema ao visualizar, inserir ou discutir os verbetes com seus pares por meio do ambiente digital.

Já os fatores abióticos deste ecossistema são as tecnologias por meio das quais ocorrem as interações entre espécies: infra-estrutura de *hardware*, servidor *Web* e servidor *Wiki* compõem o meio ambiente.

As interações inter-espécies ocorrem de diferentes formas: quando indivíduos da espécie humana navegam pelos verbetes, quando criam ou editam verbetes, e quando estes são exibidos. Já as interações intra-espécie ocorrem quando indivíduos da espécie humana interagem entre si por meio da ferramenta de discussão disponível para discussões assíncronas.

Quanto às relações de dependência, observamos que a espécie humana tem tanto uma relação de consumidor quanto de produtor com a espécie digital. O consumo ocorre quando indivíduos da espécie humana navegam pelos verbetes digitais, ou quando o conteúdo digital é exibido ao indivíduo da espécie humana.

Já a produção se dá quando a espécie humana cria ou edita verbetes da enciclopédia.

O ecossistema da Wikipedia não tem uma estrutura aninhada hierárquica, mas é uma estrutura aberta onde os *hiperlinks* interligam os verbetes em uma rede. Neste ecossistema, o nativo digital navega livremente, controla o ritmo e a seqüência de informações que deseja acessar, e utiliza os *hiperlinks* para criar sua própria rede de significados. É um formato próprio para esta geração, pois é uma tecnologia digital na qual os nativos têm fluência; é um formato livre adequado ao seu pensamento não-linear; é aberto e convida o nativo a participar e a interagir com outros usuários. O ecossistema da Wikipedia caracteriza uma situação informal de aprendizagem, pois não há especificamente uma distinção entre populações de aprendizes e populações de professores, tampouco uma função ou um nicho ecológico dos professores, ou uma organização dos indivíduos em populações e comunidades. No entanto, as fronteiras do ecossistema são bem definidas e são, neste caso, as fronteiras lógicas limitadas pelas páginas do domínio da Wikipedia. Portanto, não há dúvida que a Wikipedia é um ecossistema digital e um Ecossistema Digital de Aprendizagem informal, que pode se tornar formal se o seu contexto de uso for adequado a essa finalidade. Isto ocorre quando professores participam do ecossistema orientando seus aprendizes nas suas buscas e criação de conteúdos, assim como nas discussões com seus pares.

Por outro lado, o Orkut é uma rede social, mas também é um ambiente colaborativo onde usuários participam espontaneamente de comunidades. Lançado em janeiro de 2004, seu objetivo é ajudar seus membros a criar novas amizades e manter relacionamentos. A rede conta atualmente com mais de 60 milhões de usuários dos quais 55,32% são brasileiros (ORKUT, 2008). O foco do Orkut é a interação entre usuários e a criação de comunidades cujo objetivo é formar redes de amizades. A visão ecossistêmica nos permite observar que os usuários são indivíduos da espécie humana mas não há uma caracterização de indivíduos da espécie digital. As interações entre os participantes são principalmente no domínio pessoal, apesar da criação de comunidades, cujo

objetivo é discutir assuntos de interesse mútuo entre seus participantes. O Orkut tem características de ecossistemas digitais, por ele ser aberto, ter participantes e interações entre os mesmos e a possibilidade de criar comunidades. Inserido num contexto de uso, onde o professor orienta seus aprendizes a participarem de discussões numa comunidade de interesse, o Orkut poderia constituir um Ecossistema Digital de Aprendizagem apesar do foco dele não ser este.

As condições de contorno são tais que a Wikipedia busca a evolução e ampliação de sua população de conteúdos, por meio das quais aumenta também a população de usuários. Já o Orkut tem por objetivo aumentar o volume de interações e conexões entre indivíduos humanos, o que influencia indiretamente a sua população de usuários.

5.2 NAVE MÁRIO SCHENBERG

A fim de avaliar a aplicabilidade do modelo Gaia, analisamos inicialmente um simulador de viagem espacial colaborativo, instalação desenvolvida para um museu de ciências.

A Nave Mário Schenberg é uma instalação desenvolvida para o Parque Cientec (Parque de Ciências e Tecnologia da Universidade de São Paulo) que contou com o apoio da Fundação Vitae e da FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos). A nave, em uso desde maio de 2008, é um jogo colaborativo em Realidade Virtual que simula uma viagem espacial e tem por objetivo instigar a apreciação do jovem pela Ciência, pela Astronomia e pela Física, além de estimular o trabalho em equipe. Neste ambiente, um grupo de vinte e dois participantes vivencia uma aventura no espaço por meio de um jogo interativo e colaborativo (LOPES, 2007).

O objetivo do jogo é salvar, do ponto de vista dos aprendizes, uma população de Tectractys (habitantes de um planeta imaginário) que estão correndo risco de morte, pois o Sol de seu sistema está prestes a explodir. O objetivo pedagógico

do jogo é principalmente despertar o interesse dos jovens pela Ciência ao introduzir alguns conceitos básicos tais como: a força da gravidade, informações sobre planetas do Sistema Solar, a importância das fontes de energia, a relação entre velocidade e consumo de energia. O objetivo pedagógico indireto é desenvolver a colaboração, o trabalho em equipe e despertar a consciência ambiental, bem como a importância do papel de cada ser humano na proteção dos recursos naturais.

Imagens estereoscópicas do espaço são projetadas em dois telões que representam as janelas da nave (Figura 23). A ambientação cenográfica, as imagens estereoscópicas, a trilha sonora, os efeitos sonoros e a narração, assim como as estações de trabalho interativas criam um ambiente altamente imersivo para o grupo de participantes.

Figura 23 - Telões da Nave Mário Schenberg

O ambiente é composto por seis estações de trabalho que permitem controlar a viagem, cada uma com uma função específica: a rota, o radar (Figura 24), a energia, a velocidade, a manutenção e o comando geral. Em cada estação de trabalho se concentram de três a cinco participantes que, por intermédio de atividades interativas e colaborativas, conduzem a nave através do Sistema Solar em busca dos Tectractys.

Figura 24 - Estações Rota e Radar

A interação dos usuários com o sistema se dá por meio de computadores embutidos nas estações de trabalho, com telas sensíveis ao toque, e possuem botões industriais próprios para ambientes multi-usuários, mas que executam a aplicação com interfaces individualizadas para cada estação. Na Figura 25 há exemplos de telas de interface das estações energia e radar.

Figura 25 - Interface Estações Energia e Radar

5.2.1 Fatores bióticos

Para poder analisar o simulador de viagem espacial com o modelo Gaia foram definidas suas características, utilizando os artefatos propostos: tabelas, diagramas e descrições. A Tabela 17 traz o detalhamento das espécies, populações e comunidades do ecossistema que denominamos Ecossistema Simulador Espacial.

Tabela 17 - Fatores Bióticos do Ecossistema Simulador Espacial

NÍVEL ORGANIZAÇÃO	FATORES BIÓTICOS	
ESPÉCIES	HUMANA (ATORES)	DIGITAL (CONTEÚDOS)
POPULAÇÕES	Aprendizes, professores, monitores do museu.	Textos, imagens, sons, vídeos, animações, imagens em 3D.
COMUNIDADES	Museu (equipe de monitores do museu e visitantes: professores e aprendizes).	Simulador, jogo, ambiente 3D, trilha sonora, efeitos sonoros.

A visitação à nave é pré-agendada com os monitores do Parque e organizada por escolas que levam grupos de professores e alunos. Assim, definimos a comunidade do museu onde há três populações de atores: os aprendizes, os professores e os monitores que atendem os visitantes e os acompanham nessa excursão. O conteúdo deste ecossistema consiste de um jogo sob a forma de um simulador que utiliza textos, imagens bidimensionais, imagens tridimensionais, sons, vídeos e animações.

Ao analisar um ecossistema é recomendado determinar a que nível de organização seus fatores bióticos serão estudados. Neste sentido, no caso do

Ecossistema Simulador Espacial, seus fatores bióticos serão analisados em termos de populações de atores e de comunidade de conteúdos.

5.2.2 Fatores abióticos

Quanto aos fatores abióticos (Tabela 18), a instalação consiste de uma rede local, com computadores *desktop* e telas sensíveis ao toque, botões industriais e projetores de alta-definição para projeção em estereoscopia. A aplicação utiliza tecnologias de Realidade Virtual e Simulação e faz uso do Celestia (CELESTIA, 2008) - um banco de dados e simulação espacial, em tempo real, que permite explorar o universo (FICHEMAN et al, 2006a). O simulador de viagem espacial fundamenta-se no paradigma de aprendizagem colaborativa que serviu de base na concepção da ferramenta onde os aprendizes se envolvem em uma experiência interativa e colaborativa para construir seu conhecimento sobre Astronomia.

Tabela 18 - Fatores Abióticos do Ecossistema Simulador Espacial

TECNOLOGIA	DESCRIÇÃO
HARDWARE	<i>Desktop, Touchscreen</i> , botões, projetores de alta-definição
SOFTWARE	Realidade Virtual, Simulação
BANCO DE DADOS	Celestia
REDE	LAN
TEORIAS PEDAGÓGICAS	Aprendizagem Colaborativa

5.2.3 Habitat

O habitat de populações de um ecossistema consiste na descrição de seu espaço físico e da estrutura do seu ambiente. O habitat das populações de aprendizes, professores e monitores do Ecossistema Simulador Espacial consiste no espaço físico da instalação que se encontra num dos edifícios do Parque Cientec e na cenografia montada para criar a ambientação do interior de uma nave espacial.

Quanto ao nicho ecológico, a população de monitores do parque possui um bem definido: consiste na orientação dos aprendizes e professores quanto à interação com a ferramenta digital.

5.2.4 Ecossistema

Para representar as populações envolvidas no Ecossistema Simulador Espacial, suas interações e o meio que apóia as interações, foi elaborado o diagrama do ecossistema com base no modelo Gaia (Seção 4.3). O diagrama comporta os fatores bióticos (populações), os fatores abióticos e as interações. Neste ecossistema, a população de monitores apenas participa como espectador, pois não interage com o sistema, e não interage com outras populações por meio dele.

Neste ecossistema, as interações inter-espécie (entre atores e conteúdos) e as interações intra-espécie (entre atores) ocorrem de formas diferentes. Os conteúdos gráficos são exibidos nas telas sensíveis ao toque e nos telões da nave. Os conteúdos sonoros (trilha, efeitos, narração) são tocados no sistema de áudio (interação (1) no diagrama da Figura 26). Aprendizes e Professores interagem com o sistema para dirigir a Nave através do espaço (interação (3) na

Figura 26). Quanto às colaborações entre populações de atores, estas ocorrem de forma indireta, pois as decisões tomadas por um grupo instalado numa estação influenciam o trabalho dos outros (interações (4a) e (4b) na Figura 26). Por exemplo, a velocidade da nave controlada pela Estação Velocidade influencia o consumo de energia controlado pela Estação Energia.

Figura 26 - Ecosistema Simulador Espacial Nave Mário Schenberg

5.2.5 Fronteiras e influências

O ecossistema é delimitado pelas suas fronteiras físicas, que neste caso é o edifício onde estão instalados os equipamentos de simulação e interação. Já as fronteiras lógicas do ecossistema englobam o *software* de simulação e interação. Como visto no capítulo anterior, as fronteiras do ecossistema sofrem influências internas e externas. Um exemplo de uma influência externa pode ser o aumento

do valor do ingresso ao parque, o qual poderia afetar o tamanho das populações de aprendizes e professores.

A escala temporal é definida em minutos, pois a duração das atividades no ecossistema é limitada em cerca de 45 minutos e as interações podem ser observadas em termos de minutos sem haver a necessidade de um refinamento maior.

5.2.6 Funções meta

Em sistemas biológicos, as propriedades emergentes, quantificadas pelas funções meta, servem de indicadores de qualidade e determinam o estágio de amadurecimento do ecossistema. No modelo Gaia definimos quatro funções meta: autoria, colaboração, imersão e mobilidade.

Avaliamos aqui as funções meta do Ecossistema Simulador Espacial.

AUTORIA

No Ecossistema Simulador Espacial, não há autoria propriamente dita no sentido completo do termo, que permita criar ou editar conteúdos. Há apenas o envolvimento dos atores ao interagirem com o conteúdo e provocar uma mudança no estado do mesmo (interações tipo 3). Isto acontece na estação manutenção, por exemplo, quando o grupo de aprendizes monta um robô com características específicas ou quando os aprendizes escolhem a rota da nave.

COLABORAÇÃO

Neste ecossistema, a colaboração apoiada pelo ambiente ocorre apenas entre as populações de aprendizes e professores (Figura 27), e acontece quando todos os atores estão fisicamente no mesmo local (na nave).

Figura 27 - Colaboração no Ecossistema Simulador Espacial

A colaboração é assíncrona ocorrendo através do objeto da simulação (Tabela 19).

Tabela 19 - Colaboração no Ecossistema Simulador Espacial

	SÍNCRONA	ASSÍNCRONA
MESMO LOCAL	—	Colaboração no objetivo da simulação
LOCAIS DIFERENTES	—	—

IMERSÃO

A imersão num ambiente digital pode ser proporcionada por estímulos visuais, sonoros ou táteis. Estes estímulos são atributos do fluxo de informação que segue dos conteúdos para os atores, e podem ser a exibição de imagens, a reprodução de sons, simulação com realimentação de força (*force feedback*) ou uma ambientação por mudança de temperatura, umidade ou vento.

No Ecossistema Simulador Espacial, o fluxo de conteúdos ocorre na exibição de conteúdos (interações de tipo (1)) para todas as populações de atores, e nas interações de tipo (3) para as populações de aprendizes e de professores (Figura 28). Do ponto de vista da visão, as imagens são criadas e exibidas em duas dimensões nas estações de trabalho, e projetadas hora em três dimensões, hora em estereoscopia nos telões. Do ponto de vista auditivo, a trilha e os efeitos sonoros são tocados em um sistema de áudio com 6 caixas de som distribuídas ao redor do espaço e conta com amplificadores e *subwoofer*. Neste sentido, os atributos do fluxo de informação, visualização 3D em estereoscopia, alta luminosidade dos projetores, tamanho dos telões, luz baixa do ambiente, cenografia e áudio amplificado contribuem para a ambientação e a sensação de imersão dos atores.

Figura 28 - Imersão no Ecossistema Simulador Espacial

MOBILIDADE

Do ponto de vista da mobilidade, verificamos a classificação de *hardware* e de rede, como detalhado no capítulo anterior.

Segundo a classificação de tecnologias de *hardware* proposta por Naismith et al (2001), o Simulador Espacial se encontra no quadrante 4 (Figura 6) pois é um

sistema compartilhado (cada estação é compartilhada por um grupo de visitantes) e estático. Neste caso, nós não consideramos que o sistema possa ser classificado como aprendizagem móvel ou *mobile learning*.

Quanto à classificação do acesso às tecnologias mapeamos, segundo os aspectos de espaço físico e espaço de tempo, as possibilidades do Simulador Espacial na tabela Tabela 20. O mapeamento nos mostra as limitações do acesso ao Simulador e em que sentido este pode ser ampliado.

Tabela 20 - Simulador Espacial - Classificação de Acesso às Tecnologias

Tempo \ Espaço Físico	Espaço Físico	
	FIXO (INDOOR)	FLEXÍVEL (OUTDOOR)
LIMITADO	SIM	NÃO
ILIMITADO	NÃO	NÃO

Quanto às tecnologias de rede, como o Simulador Espacial trabalha apenas com rede local, a mobilidade da aprendizagem restringe-se à mobilidade em espaços conceituais (Seção 4.5.4).

5.2.7 Análise do ecossistema

Na fase de concepção do simulador espacial, a análise de requisitos foi conduzida com abordagens tradicionais e baseou-se em discussões que resultaram na descrição de casos de uso e na elaboração de seus diagramas. O projeto foi implementado e testado, e já está instalado e em uso contínuo.

Para avaliar a aplicabilidade do modelo de ecossistemas, o modelo Gaia foi aplicado ao simulador e foram gerados os artefatos resultantes da aplicação do mesmo.

A modelagem do Ecossistema Simulador Espacial permitiu identificar a comunidade do mesmo (comunidade do museu), assim como as populações envolvidas: aprendizes, professores e monitores, da espécie humana, e simulador da espécie digital. As interações entre populações apoiadas pelo ecossistema e as tecnologias empregadas foram levantadas e detalhadas a fim de poder analisar as suas funções meta. A avaliação das funções meta nos permitiu elaborar a Tabela 21 cujo objetivo é verificar o estágio de maturidade do ecossistema em questão.

Tabela 21 - Estágio de maturidade do Ecossistema Simulador Espacial

FUNÇÃO META	EM DESENVOLVIMENTO	MADURO
AUTORIA	Limitada (interação simples)	—
COLABORAÇÃO	Entre algumas populações	—
IMERSÃO	—	Alto grau de imersão
MOBILIDADE	—	—

Do ponto de vista da autoria, o ecossistema não oferece ferramentas de autoria propriamente ditas, mas permite uma interação com o simulador que altera o seu estado, o que pode ser considerado autoria no sentido mais limitado. A colaboração restringe-se à uma colaboração assíncrona no mesmo espaço físico entre duas das três populações de atores. Quanto à imersão, o ecossistema utiliza tecnologias que provocam a visão e a audição para criar um ambiente altamente imersivo. O sistema não pode ser considerado um sistema para aprendizagem móvel do ponto de vista da mobilidade da tecnologia, pois ele é restrito a um ambiente fixo, com tecnologias de *hardware* e de rede fixas, tampouco do ponto de vista da mobilidade do aprendiz, pois o acesso ao simulador é limitado no tempo e no espaço. Com os dados das funções meta mapeados na Tabela 21, observamos que o Ecossistema Simulador Espacial está

ainda em desenvolvimento, principalmente do ponto de vista da autoria e da colaboração, e que alcançou o estágio maduro apenas na questão da imersão.

5.2.8 Condições de contorno

As condições de contorno de um ecossistema referem-se a princípios que regulam o comportamento de seus componentes e devem ser tais que o ecossistema continue vivo. E, para manter o ecossistema de aprendizagem vivo, é preciso manter as populações estáveis e estimular as interações, ou buscar o crescimento populacional tanto de atores como de conteúdos e, com isso, aumentar as interações. Porém, no Ecossistema Simulador Espacial, não há crescimento populacional de atores ou conteúdos, tampouco de volume de interações. As fronteiras do ecossistema são bem definidas no espaço e no tempo. A cada grupo de aprendizes e professores que visitam a nave, nasce uma instância do ecossistema que permanece vivo durante a simulação. Com o aumento da visita ao parque, as populações de aprendizes e professores não crescem propriamente, pois uma população é apenas substituída por outra, uma instância do ecossistema substitui a instância anterior. Numa instância do ecossistema, as populações de aprendizes, professores e monitores mantêm-se estáveis, e as interações permanecem sendo estimuladas.

5.2.9 O ecossistema e o novo aprendiz

O Ecossistema Simulador Espacial usa como base a linguagem tecnológica na qual o novo aprendiz nativo digital é fluente. É um sistema onde diversas atividades ocorrem simultaneamente através de estímulos: visuais, nas imagens

estereoscópicas projetadas nos telões e sonoras, que orientam a interação por meio da narração; e das interações personalizadas, que são executadas nos computadores das seis estações em paralelo. Estes estímulos concomitantes atendem ao perfil do aprendiz que está acostumado a trabalhar em tarefas múltiplas ao mesmo tempo. A instalação traz características de um ambiente de *videogame* de aventura com imagens imersivas, com objetivo divertido e um placar após as interações, o qual permite comparar o desempenho de cada estação de trabalho. Há também um placar final que aponta o desempenho do grupo de visitantes em relação às populações anteriores de outras instâncias do ecossistema. Estas características tais como linguagem digital, tarefas simultâneas, estímulos concomitantes e *videogame* atendem o perfil do novo aprendiz. Observações *in loco* de grupos de aprendizes, interagindo com o sistema confirmam a adequação do mesmo ao novo aprendiz.

5.2.10 Ampliação do ecossistema

A modelagem do Ecossistema Simulador Espacial nos ajudou a identificar uma possível ampliação do mesmo, que consiste em fazer alterações internas, as quais influenciarão seu estágio de maturidade com a inserção de ferramentas de autoria propriamente ditas, a disponibilidade de outras formas de colaboração entre populações envolvidas - inclusive com a população de monitores - e com a possibilidade de acesso remoto aos conteúdos, permitindo até maior tempo de interação com os mesmos. Estas alterações estenderão o tempo de vida do ecossistema para além dos 45 minutos da visita e, com isto, auxiliarão os professores a continuar o trabalho dos conteúdos abordados em outros espaços físicos, tais como no laboratório de informática da escola. E, com a ampla integração de tecnologias móveis no dia-a-dia, o sistema pode prever uma forma de interação com tecnologias sem fio tais como telefones celulares, PDAs e *laptops*, de forma que as populações de aprendizes e professores pudessem,

durante a visita, interagir com o simulador espacial por meio de seus equipamentos pessoais.

5.3 EDUMUSICAL

Apresentamos aqui o sistema Edumusical, projetado para auxiliar no desenvolvimento de habilidades musicais de crianças e adolescentes, e analisamos seu ecossistema elaborado com a aplicação do modelo Gaia.

O sistema EduMusical faz uso de meios eletrônicos interativos a fim de oferecer diferentes possibilidades criativas a aprendizes e recursos pedagógicos a professores para apoiar a educação musical.

Figura 29 - Editor Musical - aplicação para composição individual e colaborativa

O sistema, disponível desde janeiro de 2004, consiste do Editor Musical (Figura 29) (FICHEMAN et al, 2002a; FICHEMAN et al., 2003; FICHEMAN; KRÜGER, 2003), uma aplicação de composição musical colaborativa e, pelo Portal

EduMusical (Figura 30), um conjunto de páginas Web com pequenos aplicativos em forma de jogos que podem ser utilizados como apoio ao desenvolvimento musical de crianças em atividades de literatura e apreciação musical (FICHEMAN, 2002b; FICHEMAN et al., 2004).

Figura 30 - Portal EduMusical, Página Inicial www.edumusical.org.br

Como exemplo, o Jogo do Piano - ilustrado na Figura 31 - é um dos aplicativos que desenvolve a habilidade de reconhecimento de notas musicais e se insere nas atividades de apreciação musical (PATRICIO et al., 2007; PATRICIO et al., 2008).

Figura 31 - Jogo do Piano

O conjunto Editor Musical e Portal EduMusical foram desenvolvidos para suprir a necessidade de ferramentas educacionais e apoiar a educação musical nas escolas que não têm professores especializados nem instrumentos musicais, mas que possuem laboratórios de informática, onde o professor de artes pode levar seus alunos para trabalhar a música por meio das ferramentas digitais oferecidas no sistema. E, justamente para apoiar o professor de artes das escolas, criamos formas de interação entre estes e especialistas em educação musical. Para isto, uma parte do Portal EduMusical foi desenvolvida especificamente voltada ao professor: o *síte* dos professores, no qual estes podem visualizar sugestões de uso das ferramentas disponibilizadas, além de interagir entre si e com especialistas de educação musical para elucidar dúvidas ou propor formas de uso.

O Editor Musical pode ser descarregado do Portal para ser instalado no computador do usuário e comporta modos de composição individuais e colaborativos, em redes locais ou a distância. As composições musicais elaboradas com o Editor Musical podem ser postadas no Hall da Fama do Portal, que é destinado a permitir interações entre usuários.

A abordagem pedagógica que norteou a concepção dos aplicativos foi baseada em recentes pesquisas de educação musical.

5.3.1 Fatores bióticos

A aplicação do modelo Gaia nos permitiu analisar o sistema EduMusical. Para isto, foram definidos seus fatores bióticos e abióticos e seu ecossistema com suas características, utilizando os artefatos propostos pelo modelo. A Tabela 22, por exemplo, traz o detalhamento das espécies, populações e comunidades do ecossistema que denominamos Ecossistema EduMusical.

Tabela 22 - Fatores Bióticos do Ecossistema EduMusical

NÍVEL ORGANIZAÇÃO	FATORES BIÓTICOS	
ESPÉCIES	HUMANA (ATORES)	DIGITAL (CONTEÚDOS)
POPULAÇÕES	Especialistas em Educação Musical, aprendizes e professores de artes.	Textos, imagens, sons, vídeos, animações.
COMUNIDADES	Escolar.	Editor de composição musical, jogos.

O Editor Musical e o Portal EduMusical são de uso livre e podem ser acessados por qualquer internauta, instalados (no caso do Editor Musical) e utilizados mediante um pequeno cadastro que nos ajudou a acompanhar o uso das ferramentas e a melhorar sua usabilidade.

Ainda assim, focamos a análise das interações em três populações principais de atores: especialistas em Educação Musical, aprendizes e professores de artes. Mesmo podendo ser acessado e utilizado em espaços informais de aprendizagem, o sistema tem por objetivo apoiar atividades de música nas escolas, portanto a comunidade que será considerada é a comunidade escolar. Quanto aos conteúdos, estes consistem de populações de textos, imagens bidimensionais, sons, vídeos e animações formando a comunidade do Editor Musical e jogos musicais.

Ao analisar um ecossistema é recomendado determinar a que nível de organização seus fatores bióticos serão estudados. Neste sentido, no caso do Ecossistema EduMusical, seus fatores bióticos serão analisados em termos de populações de atores e comunidade de conteúdos.

5.3.2 Fatores abióticos

Quanto aos fatores abióticos (Tabela 23) há apenas, do ponto de vista de *hardware*, a necessidade de ter uma placa de som instalada no equipamento para utilizar as ferramentas disponíveis, e do ponto de vista do *software*, o Editor Musical desenvolvido em *Java*, necessita de uma máquina virtual JVM, enquanto que o Portal EduMusical precisa de um navegador *Web* e de um *Flashplayer* instalados. Quanto às tecnologias de rede, o Editor Musical pode, numa rede local, ser utilizado para a criação e edição de composições colaborativas. Já numa rede de longa distância com acesso à Internet, surge a possibilidade de utilizar também todos os recursos do Portal EduMusical.

Tabela 23 - Fatores Abióticos do Ecossistema EduMusical

TECNOLOGIA	DESCRIÇÃO
HARDWARE	Equipamento com placa de som
SOFTWARE	Navegador Web, Flashplayer, Máquina Virtual Java
BANCO DE DADOS	Relacional, MySql, PHP
REDE	LAN, WAN, WIFI e tecnologias sem fio
TEORIAS PEDAGÓGICAS	Construtivista, Teoria Espiral de Aprendizagem Musical

HABITAT

O habitat das populações de aprendizes e professores do Ecossistema EduMusical foi inicialmente projetado para ser o laboratório de informática de escolas, porém com o crescente acesso a tecnologias digitais e à *Web* em espaços informais de aprendizagem (residências, telecentros, *lanhouse*), o espaço físico não é mais limitado à escola. E, com o surgimento de plataformas

móveis e de plataformas móveis de baixo custo para uso educacional (XO, 2007; CLASSMATE, 2007; MÓBILIS, 2007), o habitat das populações de aprendizes e professores de arte não se restringe, quando o uso é num espaço formal de aprendizagem, a um laboratório, mas é ampliado a todo o espaço físico da escola e fora dela.

E, com a disponibilidade de redes de longa distância e as ferramentas de colaboração disponíveis no ecossistema, não há restrição a um espaço físico específico quanto ao habitat da população de especialistas em Educação Musical.

Do ponto de vista de nicho ecológico, a população de professores de arte tem a função de orientar os aprendizes presencialmente e a distância e a população de Especialistas tem a função de auxiliar os professores a distância.

5.3.3 Ecossistema

Para representar as populações envolvidas no Ecossistema EduMusical, suas interações e o meio que apóia as mesmas, foi elaborado o diagrama do ecossistema com base no modelo Gaia (Seção 4.3). O diagrama comporta os fatores bióticos (populações), os fatores abióticos e as interações. Neste ecossistema, todas as populações de atores interagem com a população de conteúdo; os atores interagem com outros atores da mesma população; e professores de arte interagem com especialistas em educação musical e com aprendizes (Figura 32).

Neste ecossistema, as interações entre atores e conteúdos ocorrem quando atores criam suas composições (interação (2)), quando visualizam informações e animações, escutam sons do Portal (interação (1)) e quando interagem com jogos como aquele do Piano, por exemplo (interação (3)). Quanto às interações entre atores da mesma população, elas ocorrem durante a criação colaborativa de

composições musicais, por meio da postagem de mensagens no Hall da Fama, e por meio do Site dos Professores (interações (4a) e (4b)).

Figura 32 - Ecossistema EduMusical

5.3.4 Fronteiras e influências

O ecossistema é delimitado por fronteiras físicas e lógicas. Neste caso, como não há instalação física específica, o Ecossistema EduMusical é delimitado apenas por fronteiras lógicas que englobam as páginas *Web* do Portal EduMusical, assim como o Editor Musical. As fronteiras do ecossistema sofrem influências internas e externas. A divulgação na mídia ou a inserção de atividades musicais no currículo escolar são, por exemplo, influências externas que afetam diretamente primeiro o crescimento das populações de atores e, com isto, indiretamente o crescimento da população de conteúdos, pois os atores postarão mais músicas, mais

comentários sobre as músicas postadas e mais dicas de professor para professor. Uma mudança na usabilidade dos jogos do Portal (influência interna) aumenta o uso dos mesmos e a recomendação do jogo para amigos (recurso incluso no Portal), o que acaba aumentando a população de atores.

Os pontos de monitoramento incluídos na codificação do sistema nos ajudaram a determinar a escala temporal. Esta é definida em meses, pois a oscilação do volume das interações no ecossistema em termos de uso em ambientes escolares não tem grandes variações em termos de dias ou horas, mas há diferenças entre os meses letivos e os meses de férias.

5.3.5 Funções meta

As quatro funções meta definidas no modelo Gaia são analisadas no contexto do Ecossistema EduMusical.

AUTORIA

No Ecossistema EduMusical, a autoria se dá na utilização do Editor Musical que permite compor música, ler e editar composições em formato MIDI (interações tipo (2)). A autoria ocorre também quando atores contribuem para o conteúdo do Portal EduMusical, seja quando professores colocam dicas para outros professores, seja quando atores postam suas músicas no Hall da Fama ou quando colocam um comentário sobre uma das músicas postadas. Nestas interações, os atores criam conteúdos e contribuem com o crescimento populacional dos mesmos.

COLABORAÇÃO

No Ecossistema EduMusical, a colaboração ilustrada na Figura 33 ocorre por meio do sistema, entre atores da mesma população e entre atores de populações diferentes.

Figura 33 - Colaboração no Ecossistema EduMusical

Ao mapear as formas de colaboração na tabela proposta por Ellis et al (2001), podemos perceber que todas as formas de colaboração são atendidas pelo Ecossistema (Tabela 24). Em específico, a colaboração assíncrona se dá no módulo de colaboração *off-line* oferecido pelo Editor Musical, e que permite começar uma composição colaborativa síncrona, continuar compondo individualmente e voltar a compor em conjunto quando cada participante colabora com a sua parte.

Tabela 24 - Colaboração no EduMusical

	SÍNCRONA	ASSÍNCRONA
MESMO LOCAL	Composição colaborativa	Colaboração <i>off-line</i>
LOCAIS DIFERENTES	Composição colaborativa	Colaboração <i>off-line</i> Músicas postadas e comentários

IMERSÃO

A imersão proporcionada por estímulos visuais, sonoros ou táteis é um atributo do fluxo de informação transferido de conteúdos para os atores.

No Ecossistema EduMusical, este fluxo de informação ocorre nas interações de tipo (1) e de tipo (3) para todas as populações de atores. Do ponto de vista da visão, as imagens tanto do Editor Musical como do Portal EduMusical são bidimensionais. Do ponto de vista de áudio, as composições elaboradas com Editor Musical têm formato MIDI que não garante boa qualidade sonora, mas nas atividades de apreciação musical do Portal EduMusical há alguns trechos de peças musicais extraídas de gravações de orquestras. A qualidade sonora depende diretamente da placa de som do computador e das caixas de som utilizadas.

MOBILIDADE

Do ponto de vista da mobilidade, verificamos a classificação de *hardware* e de rede. Segundo a classificação de tecnologias de *hardware* proposta por Naismith et al (2001), o conjunto Editor Musical e Portal EduMusical se encontra no quadrante 1 (Figura 6), pois é um sistema que pode ser usado em equipamentos pessoais e portáteis, podendo ser *laptops* ou *tablet* PCs por exemplo. Tecnologias do quadrante 1 são consideradas tecnologias móveis. Quanto à possibilidade de utilizá-los em PDAs e celulares ela existe, mas requer uma reprogramação da interface que não está adequada a telas reduzidas. PDA's e celulares podem executar programas em *Java*, portanto poderiam executar uma versão customizada do Editor Musical.

Quanto à classificação do acesso às tecnologias segundo os aspectos de espaço físico e de tempo, mapeamos as possibilidades do Editor Musical e do Portal EduMusical na tabela (Tabela 25), e pudemos perceber que não há limitações de acesso em relação ao espaço físico ou tempo.

Tabela 25 - EduMusical - Classificação de Acesso às Tecnologias

Tempo \ Espaço Físico	FIXO (INDOOR)	FLEXÍVEL (OUTDOOR)
LIMITADO	NÃO	NÃO
ILIMITADO	NÃO	SIM

Quanto às tecnologias de rede, o Editor Musical pode ser utilizado em rede local ou em rede de longa distância, e o Portal EduMusical requer acesso à Internet. Com isto, a mobilidade da aprendizagem refere-se à mobilidade em espaços conceituais, em espaços físicos e também à mobilidade da tecnologia (4.5.4).

5.3.6 Análise do ecossistema

A análise de requisitos do sistema EduMusical, conduzido durante sua concepção em 2002, se baseou em discussões com professores de artes, especialistas em Educação Musical e aprendizes, resultando na descrição de casos de uso e na elaboração de seus diagramas. O projeto foi implementado, testado e está disponível desde janeiro de 2004. O sistema é de uso livre e pode ser acessado mediante um cadastro que permite a inserção de pontos de monitoramento que nos ajudam a analisar o comportamento dos usuários e o fluxo de informações.

Com o objetivo de avaliar a aplicabilidade da proposta deste trabalho, o Portal EduMusical foi modelado com o modelo Gaia apresentado no capítulo anterior, e foram gerados os artefatos correspondentes ao fluxo de trabalho que denominamos Ecossistema EduMusical.

A modelagem do Ecossistema EduMusical nos permitiu identificar sua comunidade (comunidade escolar), assim como as populações envolvidas:

aprendizes, professores de artes e especialistas em educação musical da espécie ator, e Editor Musical e Portal EduMusical da espécie conteúdo. As interações entre populações apoiadas pelo ecossistema e as tecnologias empregadas foram levantadas e detalhadas a fim de poder analisar suas funções meta.

A avaliação das funções meta nos permitiu elaborar a Tabela 26 cujo objetivo é analisar o estágio de maturidade do ecossistema em questão. Este ecossistema oferece ferramentas de autoria propriamente ditas com as quais autores criam músicas que aumentam a população de conteúdos, o que é considerado autoria completa. Todas as formas de colaboração são apoiadas pelo sistema que permite a colaboração entre todas as populações de atores, correspondente a um estágio avançado de maturidade. Quanto à imersão, o ecossistema utiliza tecnologias simples, estimuladoras da visão (com imagens bidimensionais) e da audição, não podendo ser chamado de ambiente imersivo propriamente dito. Do ponto de vista da mobilidade, o EduMusical pode ser considerado um sistema para aprendizagem móvel pois sua acessibilidade pode ser com plataformas móveis e pessoais. Ele também pode ser analisado do ponto de vista da mobilidade do aprendiz que se desloca entre espaços diferentes, utilizando tecnologias diferentes e interage com o sistema.

A análise dos dados das funções meta mapeados na Tabela 26 nos permite determinar que o Ecossistema EduMusical está num estágio maduro, principalmente no que se refere à autoria, colaboração e mobilidade, e se encontra ainda em desenvolvimento do ponto de vista da imersão.

Tabela 26 - Estágio de maturidade do Ecossistema EduMusical

FUNÇÃO META	EM DESENVOLVIMENTO	MADURO
AUTORIA	—	Completa (criação de conteúdos)
COLABORAÇÃO	—	Entre todas as populações
IMERSÃO	Parcial	—
MOBILIDADE	—	Do aprendiz

5.3.7 Condições de contorno

As condições de contorno de um ecossistema - princípios que regulam o comportamento de seus componentes - devem ser tais que o ecossistema continue vivo. Para tanto, é preciso manter as populações estáveis e estimular as interações, ou buscar o crescimento populacional tanto de atores como de conteúdos e o aumento das interações. No Ecossistema EduMusical houve, ao longo dos meses, um crescimento das populações de atores e um aumento do volume de interações. Percebemos ao longo dos anos que as populações de atores e o total de interações tiveram inicialmente um crescimento maior após a divulgação do Portal, mas mantiveram uma taxa de crescimento regular após o pico inicial. Apesar de planejado, o crescimento dos conteúdos não ocorreu naturalmente. Acreditamos que isto aconteceu por problemas de usabilidade das interfaces.

O cadastro necessário para acessar o Portal EduMusical possibilitou a análise deste crescimento. A Figura 34 mostra o crescimento de cadastros em 2004. Do mês de janeiro a abril, o total de atores veio crescendo num ritmo muito lento. Em maio daquele ano, o Portal foi amplamente divulgado na mídia, o que refletiu no aumento significativo da população de atores. Esta divulgação pode ser considerada uma influência externa ao ecossistema.

Figura 34 - Crescimento Populacional EduMusical em 2004

O aumento da população de atores vem mantendo um ritmo constante desde a divulgação em maio de 2004 (Figura 35).

Figura 35 - Crescimento Populacional EduMusical 2004-2005

Uma influência interna ao ecossistema pode ser demonstrada num dos primeiros jogos disponibilizados no Portal EduMusical: o Jogo da Memória. O jogo está no Portal desde fevereiro de 2004. O Portal mantém um *log* de acessos a cada ambiente e a cada jogo, e com a análise destes acessos e um teste de usabilidade, a interface foi reprojetada e foram implementadas melhorias como uma barra de *status*, dicas para os jogadores e ajuda do usuário. Estas mudanças colocadas no ar em outubro de 2004 refletiram num aumento significativo do total de acessos ao jogo (Figura 36). Uma alteração como a melhoria da usabilidade pode ser considerada uma influência interna que provocou o aumento das interações entre atores e conteúdos, neste caso um conteúdo específico.

Figura 36 - Acessos ao Jogo da Memória

5.3.8 O ecossistema e o novo aprendiz

O Ecossistema EduMusical é um ambiente que permite a iniciação musical por meio de tecnologias digitais. O novo aprendiz é um nativo digital que navega naturalmente nestes ambientes. É um sistema que não tem uma seqüência linear de interações, o que corresponde ao pensamento não-linear do aprendiz e lhe permite ter autonomia para interagir com conteúdos, conforme sua rede de significados. O ecossistema oferece diferentes formas de colaboração com outros indivíduos, o que atende a necessidade do aprendiz em se comunicar com seus pares. As músicas criadas pelos aprendizes podem ser postadas no portal, o que aumenta a população de conteúdos. E as músicas postadas por outros participantes podem ser descarregadas, transformadas e postadas novamente sob uma nova versão o que constitui uma evolução de um conteúdo. Os jogos do portal têm características de *videogames*, pois são divertidos, têm objetivos específicos em formato de desafios e apresentam um placar com os melhores desempenhos no final. Esta modalidade de *software* e este tipo de interação é natural para o novo aprendiz.

5.3.9 Ampliação do ecossistema

A aplicação do modelo Gaia no sistema EduMusical nos ajudou a identificar uma possível ampliação de seu ecossistema que consiste na inserção de ambientes imersivos. Uma possibilidade é a criação de um ambiente tridimensional para navegação no Portal, onde grupos de aprendizes poderiam se encontrar para

compor ou tocar juntos uma peça musical. Outra possibilidade é o desenvolvimento de uma ferramenta que permitisse escutar uma composição elaborada com o Editor Musical, num ambiente de Realidade Virtual como a CAVERNA Digital, com projeção de músicos de uma orquestra, simulando a situação do aprendiz compositor, tocando junto com a orquestra ou regendo a mesma. A adequação das interfaces a tecnologias sem fio tais como telefones celulares e PDAs aumentará o leque de dispositivos móveis para interação com o sistema. Um estudo de usabilidade das interfaces e um reprojeto das mesmas poderá aumentar a população de atores e de conteúdos, assim como o volume de interações.

5.4 CONCLUSÃO

Neste capítulo apresentamos a aplicação da definição de Ecossistema de Aprendizagem e do modelo Gaia em estudos de caso. Esta aplicação permitiu a análise de ferramentas educacionais existentes e mostrou que o modelo pode ser utilizado para analisar ferramentas educacionais e verificar como estas podem ser ampliadas.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho propõe uma definição e um modelo de Ecossistema Digital de Aprendizagem. Neste capítulo apresentamos as principais conclusões e contribuições deste trabalho e as perspectivas de trabalhos futuros.

6.1 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

A definição de Ecossistema Digital de Aprendizagem e o modelo Gaia se mostraram úteis nos estudos de caso apresentados por permitirem analisar sistemas complexos e dinâmicos. Um ecossistema digital de aprendizagem é um sistema em constante mudança, onde convivem indivíduos autônomos humanos e digitais (que interagem entre si e com o ambiente) em que o meio favorece a participação de atores e o nascimento de novos conteúdos, e onde as condições de contorno estimulam o crescimento das populações e o aumento do fluxo de interações. Neste sentido, o modelo Gaia e seus artefatos vem complementar as abordagens tradicionais de análise de requisitos para apoiar a concepção de ambientes dinâmicos e de inter-relações complexas (FICHEMAN; LOPES, 2008c; FICHEMAN; LOPES, 2008d; FICHEMAN, 2008e).

O nativo digital se insere naturalmente num sistema que fala sua língua, onde a comunicação com outros se faz por meio da tecnologia e onde a colaboração é propiciada por meio de ferramentas digitais. Se tratando de ecossistemas digitais de aprendizagem quatro funções meta são essenciais: autoria, colaboração, imersão e mobilidade. A interação com objetos de estudo em ambientes imersivos se assemelham a mundos virtuais com os quais o aprendiz está acostumado. Um ambiente onde conteúdos não são organizados em seqüências rígidas delega o controle das interações ao nativo digital que escolhe objetos e o ritmo das

interações. Por meio da autoria, o aprendiz pode se expressar criando conteúdos, acessar e transformar conteúdos criados por outros. Neste contexto, o nativo digital se beneficia de um ecossistema centrado nele que o coloca numa situação de controle, propiciando ferramentas correspondentes ao seu perfil, sua linguagem e sua forma de se comunicar.

O modelo Gaia vem de encontro de paradigmas educacionais centrados no aprendiz que defendem a construção do conhecimento por meio da interação com os objetos de estudo, do estímulo à criatividade e da aprendizagem colaborativa. Em um ecossistema onde o meio favorece interações espontâneas e emergência de comunidades, o aprendiz tem um papel de protagonista nas atividades de que participa e em seu processo de aprendizagem.

Num mundo em constante mudança, a educação não consiste na simples transferência de informações do professor para o aprendiz. Muitas vezes a informação está disponível ao alcance do aprendiz, e a informação correta hoje, pode ser obsoleta amanhã. O papel da educação e do educador é de preparar o jovem para o mundo de amanhã, para que ele se torne um cidadão. A inserção dos aprendizes, de seus professores e de conteúdos dinâmicos em um ecossistema digital em constante evolução, onde o aprendiz orientado pelos seus professores busca informações, cria conteúdos, interage com outros e propõe soluções a problemas, prepara-o para o mundo que vai além das paredes da escola e o coloca num papel ativo de produtor e não apenas de consumidor de informações.

Este olhar holístico é importante, pois permite visualizar o conjunto em termos de riscos, consequência de influências internas ou externas, de sustentabilidade e de crescimento do todo, o que não é possível quando se analisa os componentes isoladamente.

A aplicação da definição de ecossistema digital de aprendizagem auxiliou a análise das ferramentas Wikipedia e Orkut, permitindo identificar suas principais características. A aplicação do modelo Gaia ao Simulador Espacial e ao Sistema EduMusical proporcionou uma visão integrada dos componentes, suas

populações e interações. As funções meta, o estágio de maturidade, as fronteiras ambientais e as condições de contorno contribuíram para ressaltar aspectos que não foram contemplados com abordagens tradicionais utilizadas na concepção original destes sistemas.

A definição de ecossistema e o modelo Gaia se mostraram úteis para analisar e evidenciar como os exemplos dos estudos de caso podem ser modificados para se tornarem ecossistemas mais maduros.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

A partir das análises dos estudos de caso, pontos de monitoramento poderão ser incluídos a fim de acompanhar a evolução dos respectivos ecossistemas e de suas populações (tanto de atores quanto de conteúdos). O monitoramento ao longo do tempo poderá servir de base para analisar as causas de crescimento ou decréscimo populacional e também do aumento ou diminuição de interações, bem como o estabelecimento de equações para o modelo.

O modelo Gaia poderá ser complementado ao incluir, por exemplo, uma função de reciclagem de dados de indivíduos, tanto da espécie humana quanto da espécie digital, que já participaram do ecossistema, mas que não fazem mais parte dele, quando deixam de interagir ou quando deixam de ser exibidos.

O comportamento dos componentes destes ecossistemas poderá ser simulado com o auxílio de simuladores como o STELLA. Com isto, será possível prever estados de saturação ou analisar efeitos de influências internas ou externas antes mesmo delas serem aplicadas.

As funções meta estabelecidas no modelo Gaia partiram da análise do contexto e do perfil do novo aprendiz, e ainda das necessidades dos professores representadas nos paradigmas educacionais. Ao longo do tempo, o perfil dos aprendizes e as necessidades dos professores tendem a mudar e, com isto, as

funções meta deverão, no futuro, ser avaliadas para verificar sua adequação e verificar se outras funções devem ser incluídas.

Para verificar a aplicabilidade do modelo Gaia na concepção de novas ferramentas de aprendizagem, este será utilizado na análise de requisitos de novas ferramentas educacionais. E, juntamente com a inclusão de pontos de monitoramento, o ecossistema poderá ser observado para verificar se as condições de contorno são atendidas, se as funções meta contribuem para a sua evolução e o ecossistema se torna maduro.

6.3 CONCLUSÃO

Neste trabalho, apresentamos uma definição de Ecossistema Digital de Aprendizagem e o modelo Gaia, que podem servir tanto na fase de concepção de ferramentas educacionais como complemento às abordagens tradicionais de análise de requisitos, quanto para analisar ferramentas existentes, evidenciar suas características e apontar como elas podem ser adequadas e/ou ampliadas.

Com base em características emprestadas da Biologia, a definição de ecossistema compreende um conjunto de relações entre fatores bióticos e abióticos e consiste de espécies, populações e comunidades que interagem entre si e com o meio ambiente.

O modelo Gaia traduz a definição abstrata de Ecossistema Digital de Aprendizagem em artefatos de trabalho: descrições, tabelas e diagramas, e assim permite aplicar o modelo num domínio específico ao detalhar componentes, organização, relações, fronteiras, escalas, condições de contorno, funções meta e estágios de maturidade.

A definição e o modelo propostos foram aplicados a alguns estudos de caso de ferramentas digitais existentes, com o intuito de verificar sua aplicabilidade como instrumento de análise, e se mostraram eficientes no levantamento detalhado das

características, evidenciando ainda possibilidades de adequação e ampliação de cada exemplo. Duas ferramentas estudadas, a Nave Mário Schenberg e o EduMusical foram concebidas originalmente utilizando abordagens tradicionais de levantamento de requisitos e envolveram equipes multidisciplinares, o que permitiu múltiplas visões das necessidades dos usuários. No entanto, os casos de uso não proporcionaram uma visão holística de ambiente, indivíduos (humanos e digitais), relações, fronteiras e modelo de crescimento. Utilizando o modelo Gaia foi possível, por exemplo perceber que o Ecossistema Simulador Espacial nasce, vive e morre no tempo limitado da visita de um grupo de aprendizes. O crescimento populacional deste ecossistema será alcançado se as funções meta evoluírem para que ele se torne um ecossistema em estágio maduro.

Este trabalho vem contribuir para uma mudança de abordagem na concepção e na análise de ferramentas digitais de aprendizagem. Esperamos que a visão biológica possa auxiliar a criar Ecossistemas Digitais de Aprendizagem que apoiem mais efetivamente a construção do conhecimento da nova geração de aprendizes.

REFERÊNCIAS

- ABREU, S. (2007) **O Uso das Provas Operatórias para Diagnóstico dos Problemas da Aprendizagem**, Disponível em: http://www.unifai.edu.br/internet_noticia.asp?cod_conteudo=2722&area=1627, Acessado em: 18/02/2008.
- ACKERMANN, E. (2001) **Piaget's Constructivism, Papert's Construcionism: What's the difference?** Artigo não publicado fornecido pela autora/2001.
- ADL Advanced Distributed Learning initiative (2004). **Sharable Content Object Reference Model (SCORM)**. Disponível em <http://www.adlnet.org/> Acessado em: 18 de junho de 2008.
- ALEXANDER, B. (2004) **Going Nomadic: Mobile learning in higher education**, Educause Review, 39. pp. 28-35.
- ALMEIDA, F.J (Org). (2001) **Aprendizagem colaborativa: o professor e o aluno ressignificados**. In: Educação a distância: formação de professores em ambientes virtuais e colaborativos de aprendizagem – Projeto NAVE; 2001; p. 9-56.
- ALMEIDA, F.J. (2007) **Computador, escola e vida. Aprendizagem e tecnologias dirigidas ao conhecimento**. Cubzac Editora, São Paulo, 2007.
- ALVES, L. (2007) **Nativos Digitais: Games, Comunidades e Aprendizagem**. Em: Tecnologia educacional e aprendizagem. Organização: Ubirajara Carnevale, Ed. Livro Pronto, São Paulo, SP.
- AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R. (2002) **Fundamentos da Biologia Moderna**, Editora Moderna, São Paulo, 2002.
- ANCONA, D.; BRESMAN, H. (2007) **X-Teams How to Build Teams That Lead, Innovate, and Succeed**. Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts, USA. ISBN-13: 978-1-59139-692-5
- ANDRADE, A.F.; FRANCIOSI, B.; BEILER, A.; WAGNER, P.R. (2001) **Requisitos para a Modelagem de Ambientes de Aprendizagem a Distância: uma Proposta da PCRS Virtual**. In: Proceedings of the International Conference on New Technologies in Science Education, Aveiro, pp.99-106.
- ANGELINI, R. (1999) **Ecossistemas e Modelagem Ecológica**. In: Marcelo L.M. Pompêo, (Org.) Perspectivas na Limnologia no Brasil, 1 ed. São Luis (MA), Gráfica e Editora União, V.1, pp. 1-19.

ANGELINI, R. (2002) **Bases para a aplicação da teoria da informação em ecossistemas, com ênfase na ascendência.** Acta Scientiarum, Maringá, v. 24, n. 2., pp. 275-283. Disponível em:

<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciBiolSci/article/viewfile/2262/2236>

Acessado em: 29/07/08.

ASSIS, G.A.; FICHEMAN, I.K.; CORRÊA, A.G.D.; NETTO, M.L.; LOPES, R.D. (2006) **EducaTrans: um Jogo Educativo para o Aprendizado do Trânsito** VIII Ciclo de Palestras sobre Novas Tecnologias na Educação, CINTED - Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação, Porto Alegre, dez 2006.

AUGUSTO, R.L.; FICHEMAN, I.K.; SILVA, D.L.S.; LOPES, R.D.; ZUFFO, M.K. (2006) **GP Brasil VR: uma Corrida de Carros em Realidade Virtual**, In SBGames – Simpósio Brasileiro de Games, Novembro 2006, Recife – Brasil, CD.

AZUMA, R.T. (1997) **A Survey of Augmented Reality. In: Presence: Teleoperators and Virtual Environments.** 1997, vol. 6. pp 355-385.

BASSANI, P.S.; PASSERINO, L.M.; PASQUALOTTI, P.R.; RITZEL, M.I.. (2006) **Em Busca de uma Proposta Metodológica para o Desenvolvimento de Software Educativo Colaborativo.** Novas Tecnologias na Educação, CINTED-UFRGS, V.4, N.1, Julho 2006, pp.1-10.

BECK, K. (1999) **Extreme Programming Explained: Embrace Change**, Addison-Wesley Professional, Boston, Estados Unidos (228p).

BENKLER, Y.(2001) **The Battle over the Institutional Ecosystem in the Digital Environment.** Communications of the ACM. Fevereiro 2001. Vol.44. No. 2.

BERTELSEN, O. W. and NIELSEN, C. (2000) **Augmented Reality as a Design Tool for Mobile Interfaces.** DIS '00. ACM, 2000.

BILLINGHURST, M., KATO, H., POUPREV, I. (2001) **The MagicBook: A Transitional AR Interface.** Computers Graphics, November 2001, pp. 745-753.

BILLINGHURST, M; GRASSET, R; LOOSER, J. (2005) **Designing Augmented Reality Interfaces.** Computer Graphics. February, 2005.

BOEHM, B. (2006) **A View of 20th and 21st Century Software Engineering.** In: Proceeding of the 28th international conference on Software engineering , Shanghai, China, 2006, pp 12-29.

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. (1998) **The Unified Modeling Language User Guide**, Ed. Addison-Wesley, Indianapolis, USA.

BRISCOE, G.; SADEDIN, S.; PAPERIN, G. (2007) **Biology of Applied Digital Ecosystems** 2007 Inaugural IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies, Cairns, Australia, pp. 458-463.

BROWN, J.S. (1999) **Sustaining the Ecology of Knowledge**, Leader to Leader. 12 (Spring 1999): 31-36, Disponível em <http://www.pfdf.org/leaderbooks/L2L/spring99/brown.html> Acessado em: Jan 2008.

BROWN, John Seely. (2000) **Growing up digital**. Change Magazine. Disponível em <http://www.aahe.org/change/digital.pdf>. Acessado em: 18/08/2008.

BULL, S.; CUI, Y.; RÖBIG, H.; SHARPLES, M. (2005) **Adapting to Different Needs in Different Locations: Handheld Computers in University Education**, Proceedings of the 2005 IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education, Tokushima, Japan.

CAMPOS, A. A. S.; SAMPAIO, F. F. (2005) **Uma Aplicação de Realidade Virtual não Imersiva no Ensino de Astronomia**. XVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Juiz de Fora-MG.

CAVALLO, D. (2000) **O Design Emergente em Ambientes de Aprendizagem: Descobrimos e Construindo a partir do Conhecimento Indígena**, IBM Systems Journal, vol 39, números 3&4, 2000.

CELESTIA (2008) Banco de dados e simulação espacial em software livre. Disponível em: www.shatters.net/celestia Acessado em: 18/07/2008.

CERQUEIRA, V.M.M. (2007) **Software de Autoria: uma Contribuição à Educação**. Em: Tecnologia educacional e aprendizagem. Organização: Ubirajara Carnevale, Ed. Livro Pronto, São Paulo, SP.

CETIC (2008) **Pesquisa sobre o Uso das Tecnologias da Informação e da Comunicação no Brasil 2007**. Centro de Estudos sobre as Tecnologias da Informação e da Comunicação do Comitê Gestor da Internet do Brasil. Disponível em: www.cetic.br/tic/2007/indicadores-cgibr-2007.pdf Acessado em: 18/07/2008. (ISBN 978-85-60062-12-6)

CHAN, T.; CORLETT, D.; SHARPLES, M.; TING, J.; WESTMANCOTT, O. (2005) **Developing Interactive Logbook: A Personal Learning Environment**. Proceedings of the 2005 IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education, Tokushima, Japan.

CHAN, T.; SHARPLES, M.; VAVOULA, G.; LONSDALE, P. (2004). **Educational Metadata for Mobile Learning**, Proceedings of the Second IEEE Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education, Taoyuan, Taiwan.

CHANG, E.; WEST, M. (2006) **Digital Ecosystems: A Next Generation of Collaboration Environment for the Digital Networked Economy**. The 8th International Conference on Information Integration and Web-based Application & Services. December, Togyakarta, Indonesia. Disponível em: <http://www.iawas.org/conferences/iawas2006/invitedtalks.htm> Acessado em: 11/01/08

- CHANG, V.; GUETL, C. (2007) **E-Learning Ecosystem (ELES) – A Holistic Approach for the Development of more Effective Learning Environment for Small-and-Medium Sized Enterprises (SMEs)**, Inaugural IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies, Cairns, Australia, pp 420-425.
- CHRISTOPHERSON, Robert W. (1997) **Geosystems: an Introduction to Physical Geography**, 3rd, Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 1997.
- CLASSMATE (2007) <http://www.classmatepc.com>, Accessed on: May, 2007
- CONSTANZA, R.; GOTTLIEB, S. (1998) **Modelling Ecological and Economic Systems with STELLA: Part II**. Ecological Modelling, Vol. 112, Issues 2-3, pp. 81-84.
- CORLETT, D. et al. (2004) **A Mobile Learning Organizer for University Students**, Proceedings of the Second IEEE Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education, Taoyuan, Taiwan.
- CORLETT, D.; SHARPLES, M.; BULL, S.; CHAN, T. (2005) **Evaluation of a mobile learning organiser for university students** Journal of Computer Assisted Learning 21 (3), 162–170.
- CROSS, J. (2007). **Designing a Web-based Learning Ecology**; Disponível em <http://www.learningcircuits.org/unworkshop2.htm> Acessado em 7/julho/2008.
- CRUZ NETO, G.G.; GOMES, A.S.; TEDESCO, P. (2003) **Elicitação de Requisitos de Sistemas Colaborativos de Aprendizagem Centrada na Atividade de Grupo**, In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação – Rio de Janeiro, RJ.
- DAINESE, C. A. et al. (2003) **Sistema de Realidade Aumentada para Desenvolvimento Cognitivo da Criança Surda**. In: Anais do 6th SBC Symposium on Virtual Reality, Ribeirão Preto, Brasil, 273-282.
- DERNTL, M; MOTSCHNIG-Pitrik, R. (2004) **Patterns for Blended, Person-Centered Learning: Strategy, Concepts, Experiences and Evaluation**. In: Proceedings of the 2004 ACM Symposium on Applied Computing, Nicosia, Cyprus, pp. 916-923.
- DEST (2007) **IEEE Inaugural International Conference on Digital Ecosystems Technologies**, Cairns, Australia, 2007. Disponível em: <http://www.ieee-dest.curtin.edu.au/>, Acessado em: Fev 2008.
- DIEU, B.; CAMPBELL, A.P.; AMMANN, R.; (2006) **P2P and Learning Ecologies in EFL/ESL**, IATEFL Poland Computer Sig Journal, Teaching English with Technology. ISSN 1642-1027, Vol.6, Issue 3 (August 2006), Disponível em http://www.iatefl.org.pl/call/j_article25.htm Acessado em: 14 de julho 2008.

DIGITALECOSYSTEMS (2007) **The Information Resource about the European approach on Digital Business Ecosystems**, Disponível em <http://www.digital-ecosystems.org/> Acessado em 18/01/2008.

DINI, P.; RATHBONE, N.; VIDAL, M.; HERNANDEZ, P.; FERRONATO, P.; BRISCOE, G.; HENDRYZ, S. (2005) **The Digital Ecosystems Research Vision: 2010 and Beyond**. Disponível em: www.digital-ecosystems.org/events/2005.05/de_position_paper_vf.pdf Acessado em: 18/08/2008.

DUFTY, T. M.; CUNNINGHAM, D.J. (1996) **Constructivism: Implications for the Design and Delivery of Information**. In: Jonassen, D.H. (ed.). Handbook of Research for Educational Communications and Technology; New York: Macmillan. 1996 pp.170-198.

ECOPATH (2008) **EcoPath with Ecosim**, Disponível em: <http://www.ecopath.org/> Acessado em: 21/07/2008.

EDUCAR (2008) Programa [Educ@ar](http://educar.sc.usp.br/ciencias/ecologia/ecologia.html) Disponível em: <http://educar.sc.usp.br/ciencias/ecologia/ecologia.html> Acessado em 10/ago/2008.

ELLIS, C.A.; GIBBS, C.J.; REIN, G.L.; (1991) **Groupware: Some Issues and Experiences**; Communications of the ACM; January 1991; Vol. 34; No 1;

FAGUNDES, L. C.; BASSO, M. V. A.; NEVADO, R. A.; BITTENCOURT, J. V.; MENEZES, C. S. (2005). **AMADIS – Um Ambiente Virtual para apoio ao Desenvolvimento de Projetos de Aprendizagem**, In: Simpósio Brasileiro de Informática na Educação – SBIE. Juiz de Fora - MG.

FERREIRA, L. F. (2004) **Usando Objetos educacionais baseados em Realidade Virtual em ambientes de apoio a construção de conhecimento e aprendizagem de técnicas videocirúrgicas**. CINTED Novas Tecnologias na Educação. Vol2, Nº 1, UFRGS.

FICHEMAN, I.K. (2008e) **Digital Learning Ecosystems: Authoring, Collaboration, Immersion and Mobility**. À distância no e/merge 2008 Professionalising Practices online conference, organizado pela University of Cape Town. Africa do Sul. 14 de Julho 2008. Palestra convidada. Keynote Speaker. Disponível em: <http://emerge2008.net> Acessado em: 28/07/2008.

FICHEMAN, I.K.; LOPES, R.D. (2008d) **Digital Learning Ecosystems**. In: Proceedings of the IEEE ICALT – International Conference on Advanced Learning Technologies, Santander, Espanha, Julho, pp. 371-372.

FICHEMAN, I.K.; LOPES, R.D. (2008c) **Digital Learning Ecosystems: Authoring, Collaboration, Immersion and Mobility** Interaction Design and Children, IDC Proceedings – Doctoral Consortium, Junho 11-13, 2008, Chicago, IL, USA. ACM 978-1-59593-994-4. CD

FICHEMAN, I.K.; LOPES, R.D. (2008b) **Mobility in Digital Learning Ecosystems**, In: IADIS International Conference on Mobile Learning, Algarve, Portugal, Abril 2008, pp. 19-26.

FICHEMAN, I.K.; SAUL, J.A.; ASSIS, G.A.; CORREA, A.D.; FRANCO, F. J.; TORI, R.; LOPES, R.D. (2008a) **Combining Augmented Reality with Mobile Technologies to Enrich Learning Experiences**, In: IADIS International Conference on Mobile Learning, Algarve, Portugal, Abril 2008, pp. 191-195.

FICHEMAN, I.K.; ASSIS, G.A.; CORRÊA, A.G.D.; NETTO, M.L.; LOPES, R.D. (2006b). **EducaTrans: um Jogo para Educação no Trânsito**, In: SBIE – Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Novembro 2006, Brasília – Brasil, CD.

FICHEMAN, I.K. ; NOGUEIRA, A.A.M.; CABRAL, M.C.; SANTOS, B.T.; CORRÊA, A.G.D.; ZUFFO, M.K.; LOPES, R.D. (2006a). **Gruta Digital: um Ambiente de Realidade Virtual Imersivo Itinerante para Aplicações Educacionais**, Proceedings of the SBIE – Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Novembro 2006, Brasília – Brasil, pp. 417-426.

FICHEMAN, I.K.; LOPES, R.D.; KRÜGER, S.E.; BASSANI, O. (2004). **PORTAL EDUMUSICAL: Telemática aplicada à Educação Musical**, Proceedings of the XV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, 9-12 Novembro 2004, Manaus – Brasil, pp.523-532

FICHEMAN, I.K., KRÜGER, S.E. (2003) **Editor Musical: uma pesquisa sobre software para composição individual e colaborativa**, IN: XII Encontro Anual da Associação Brasileira de Educação Musical / I Colóquio do Núcleo de Educação Musical, 21-24 De Outubro 2003, Florianópolis – Brasil. Pp. 375-386.

FICHEMAN, I.K.; LOPES, R.D.; KRÜGER, S.E.; AUGUSTO, R.L. (2003). **Editor Musical: uma aplicação para aprendizagem de música apoiada por meios eletrônicos interativos**. Em anais do XIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, 12-14 Novembro 2003, Rio de Janeiro – Brasil. pp.193-202.

FICHEMAN, I.K. (2002b). **Aprendizagem Colaborativa Apoiada por Meios Eletrônicos Interativos: um estudo de caso em Educação Musical**., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, Maio 2002.

FICHEMAN, I.K.; LOPES, R.D.; KRÜGER, S.E. (2002a). **A Virtual Collaborative Learning Environment**. Proceedings of the SIACG 2002 - 1st Ibero-American Symposium on Computer Graphics 1-5 July 2002, Guimarães - Portugal. pp.75-82.

FREIRE, P. (1983) **Pedagogia do Oprimido**. Ed. Paz e Terra. Rio de Janeiro.

FREIRE, P. (1997) **Saberes Necessários à Prática Educativa**. Ed. Paz e Terra, São Paulo.

GALARNEAU, L. (2005) **Spontaneous Communities of Learning: Learning Ecosystems in Massively Multiplayer Online Gaming Environments**, Proceedings of the 2005 DiGRA Digital Games Research Association Conference, Vancouver, Canada.

GEE, P.J. (2003) **What Video Games Have to Teach Us About Learning and Literacy**, ACM Computers in Entertainment, Vol. 1, No.1, October 2003, BOOK01.

GIRAFFA, L.M.M. (1995) **Fundamentos de Teorias de Ensino-Aprendizagem e sua Aplicação em Sistemas Tutores Inteligentes**. Trabalho Individual I Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação; Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Porto Alegre, 1995.

GOMES, A.A.G. (2000) **Modelagem de Sistemas Naturais**. CBPF – na vanguarda da pesquisa. Rios de Janeiro, CBPF, 2000. Disponível em: <http://portal.cbpf.br/protectes/Pages/divulga%C3%A7%C3%A3o/pdfs/ModSistNatur.pdf> Acessado em: 06/06/2008.

GOMES, A.A.G. (2007) **Modelagem de Ecossistemas: simples na aparência, complexos na prática**. Revista Ciência Hoje, vol. 49, n. 239, pp. 56-61, julho 2007.

GOMES, A.S.; WANDERLEY, E.G. (2003) **Elicitando Requisitos em Projetos de Software Educativo**. Workshop de Informática na Educação, Campinas, SP.

GOOGLEDOCS (2007). Disponível em: <http://docs.google.com/> Acessado em: 11 de novembro de 2007.

HARVARD (2003). **Really Simple Syndication 2.0 Specification**. Disponível em <http://blogs.law.harvard.edu/tech/rss> Acessado em: 18/08/2008.

HAZDIC, M.; CHANG, E.; DILLONM Y. (2007) **Methodology Framework for the Design of Digital Ecosystems**. In Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2007, pp. 7-12.

HENTSCHEKE, L. (1993) **Relações da Prática com a Teoria na Educação Musical**. II Encontro Anual da Associação Brasileira de Educação Musical. Porto Alegre. 1993. pp. 49-67.

IFIP (2008) **IEEE International Conference on Biologically Inspired Collaborative Computing**, Setembro 2008, Itália, Disponível em: <http://www.aicanet.it/wcc2008/bicc2008cfp.pdf> Acessado em: fevereiro 2008.

IMS (2005) **Global Learning Consortium Specifications. Content Packaging and Simply Sequencing**. Disponível em <http://www.imsglobal.org/specifications.html>. Acessado em: 18/08/2008.

INDRAWAN, M.; SEA, L.; SENG, L. (2007) **Device Ecology: A Micro Digital Ecosystem**. In Proceedings of the IEEE Inaugural Conference on Digital Ecosystems and Technologies, 2007, pp. 192-197.

JACOBSON, I.; BOOCH, G.; RUMBAUGH, J. (1999) **The Unified Software Development Process**, Massachusetts, USA, Addison-Wesley, 1999.

JONES, M.G.; HARMON, S.W.; O'GRADY-JONES, M.K. (2005) **Developing the Digital Mind: Challenges and Solutions in Teaching and Learning**. Teacher Education Journal of South Carolina, 2004-2005; pp. 17-24.

KAUFMANN, H. (2003) **Collaborative Augmented Reality in Education**, Position paper for keynote speech at Imagina 2003 conference. Disponível em: http://www.ims.tuwien.ac.at/media/documents/publications/Imagina-AR_EducationPaper.pdf Acessado em: Maio de 2007.

KAUFMANN, H.; SCHMALSTIEG, D. (2003) **Mathematics and Geometry Education with Collaborative Augmented Reality**, Computers & Graphics, 27(3), 2003.

KELLER, R.; SCHREIBER, J. O. (1999) **O Ambiente GEO-3D: Suporte ao Ensino de Geometria Espacial**, In: Anais do 2º Workshop Brasileiro de Realidade Virtual – WRV. 1999. Marília, São Paulo. p. 182-193.

KIRKLEY, S.E.; KIRKLEY, J.R. (2005) **Creating Next Generation Blended Learning Environments Using Mixed Reality, Video Games and Simulations**, Techrends, Vol. 49, Nro. 3, pp 42-53, 2005

KÜSTER, M.W.; LUDWIG, C.; ASCHENBRENNER, (2007) **A. TextGrid as a Digital Ecosystem**, in Inaugural IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies, Cairns Australia, 2007.

LACERDA, R.A. (2007) **Proposta de um Modelo para Análise de Requisitos de Software Educativo**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Educação, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

LAROUSSE. (1995) **Grande Enciclopédia Larousse Cultural**, Plural Editora e Gráfica, São Paulo, 1995.

LÉVY, P. (1990) **Les Technologies de l'intelligence. L'avenir de la pensée à l'ère informatique**. Ed. La Découverte, Paris.

LÉVY, P. (1997) **Cyberculture**. Ed. Odile-Jacob, Paris.

LIN, J-W. (2004). **An Offline Scheme for Learning with Mobile Device**, Proceedings of the mLearn 2004 Conference, Rome, Italy.

LIU, Y.; LI, R.F.; XU, C.; YU, F. (2007). **Design and Application of Multimedia Mobile Learning Framework**, Proceedings of the Sixth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Honk-Kong, pp 4201-4205

LONDSDALE, P.; BABER, C.; SHARPLES, M. (2004) **A Context Awareness Architecture for Facilitating Mobile Learning**, Learning with Mobile Devices Research and Development, Learning and Skills Development Agency, London, United Kingdom, 79-85, 2004.

LOOI, C.K. (2001) **Enhancing Learning Ecology on the Internet**, Journal of Computer Assisted Learning, 17, pp 13-20, 2001.

LOPES, R.D. (2007) **A TECNOFAGIA: Uma Mudança de Paradigma para a Educação pelos Meios Eletrônicos Interativos**, São Paulo, 2007, 104p. Tese Livre-Docência em Engenharia Elétrica -Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LOPES, R.D.; KRÜGER, S.E. (2001) **O Estímulo à Criatividade e às Novas Tecnologias**, IV Congresso Arte e Ciência –Mito e Razão. Centro Mario Schenberg, São Paulo. 2001, pp.188-194.

LOPES, R.D.; NOGUEIRA, A.A.M; FICHEMAN, I.K.; ZUFFO, M.K.; CABRAL, M.C.; CORRÊA, A.G.D. (2006) **A Realidade Virtual aplicada à Educação em ambiente itinerante**, in Simpósio de Ciência e Arte, Setembro 2006, Rio de Janeiro - Brasil.

LTSA (2007) – **IEEE Standard for Learning Technology Systems Architectures** (LTSA). Disponível em <http://www.ieeeltsc.org/standards/1484-1-2003/> Acessado em: 18/08/2008.

LTSC (2007) - **IEEE Learning Technology Standards Committee (LTSC) Learning Object Metadata standard**. Disponível em: <http://ieeeltsc.org/wg12LOM/lomDescription> Acessado em: 18/08/2008.

MACHADO, L.S.; MELLO, A.N.; LOPES, R.D.; ODONE, F.O., V.; ZUFFO, M.K. (2001) **A Virtual Reality Simulator for Bone Marrow Harvest for Pediatric Transplant**, Studies Health Technology and Informatics, Amsterdam, V.81, p.293-297.

MANIFESTO (2001) **Manifesto for Agile Software Development**, Disponível em: <http://agilemanifesto.org/> Acessado em: 18/08/2008.

MARTEN, G.G. (2001) **Human Ecology: basic concepts for sustainable development**. Earthscan Publications, London, Reino Unido.

MARTINAZZO, A.A.G; MOSSINATO, A.N.; LOPES, R.B.; SAUL, J.A.; PATRÍCIO, N.S.; FICHEMAN, I.K.; LOPES, R.D. (2008) **Interdisciplinary Learning using Low Cost Mobile Platforms: Proposal in Geometry and Arts**, In: IADIS

International Conference on Mobile Learning, Algarve, Portugal, Abril 2008, pp. 140-144.

MASON, R.; RENNIE, F. (2007) **Using Web 2.0 for learning in the community**, Internet and Higher Education, 10 (2007), 196-203, Elsevier.

MEIRELLES, L.F. et al. (2005). **Teaching and Learning Networks Management with Mobility**. Proceedings of the mLearn 2005 Conference, Cape Town, South Africa.

MEIRELLES, L.F.T.; TAROUÇO, L.M.R. (2005) **Framework para Aprendizagem com Mobilidade**, XVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - Juiz de Fora - MG – 2005.

MILGRAM, P. et al. (1994) **Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum**, Telemanipulator and Telepresence Technologies, SPIE, V.2351.

MOBILIS (2007) Disponível em: <http://www.ncortech.com>, Acessado em: Maio de 2007.

MOODLE. (2007) Disponível em: <http://moodle.org/> Acessado em: Novembro de 2007.

MORAES, U.C. (2007) **Modelagem de Ambiente Virtual de Interação**. Em: Tecnologia educacional e aprendizagem. Organização: Ubirajara Carnevale, Ed. Livro Pronto, São Paulo, SP.

MULINARI, M. H.; GÓES, P.; FERRACIOLI, L. (2006) **Proposta de Utilização da Modelagem Computacional em Educação Ambiental: Um Estudo do Ecossistema Manguezal**. In: IV Encontro Estadual de Educação Ambiental e II Encontro da Rede Capixaba de Educação Ambiental, 2006, Vitória, ES.

NACHIRA, F. (2002) **Towards a Network of Digital Business Ecosystems Fostering the Local Development**. European Commission Discussion Paper. Disponível em: http://www.digitalecosystem.org/html/repository/dbe_discussionpaper.pdf Acessado em 18/08/2008.

NAISMITH, L.; LONSDALE, P.; VAVOULA, G.; SHARPLES, M. (2004). **REPORT 11: Literature Review in Mobile Learning Technologies and Learning**, Nesta Futurelab Series, University of Birmingham.

NETTO, M. L. (2001) **Computação Cognitiva - Computação, Cognição, Vida Artificial e Bio-Informática**. Simpósio de Pesquisa da USP 2001, São Paulo, Brazil (November 2001).

NOGUEIRA, A.A.M; ZUFFO, M.K.; LOPES, R.D.; NOMURA, L.M.T.; FICHEMAN, I.K.; CABRAL, M.C. (2006) **Aquisição e Construção do Conhecimento com o**

Auxilio da Tecnologia de Realidade Virtual (RV) na Área de Realidade Aumentada (RA), através da Ferramenta Artag para Visualização em 3D da Escultura Portadora de Perfume de Victor Brecheret, in Simpósio de Ciência e Arte, Setembro 2006, Rio de Janeiro - Brasil.

OBLINGER, D.G. (2004) **Learning Spaces, The Next Generation of Educational Engagement**, EDUCAUSE e-Book, 2004, ISBN 0-9672853-7-2; Disponível em www.educause.edu/learningspaces, Acessado em 7/julho/2008.

ODUM, E.P. (1963). **Ecology**. Holt, Rinehart e Winston, New York, EUA.

ODUM, E.P. (1969). **The Strategy of Ecosystem Development**. Science 104, pp. 262-270.

ODUM, E.P. (1985). **Ecologia**; Ed. Guanabara. Rio de Janeiro (RJ)

OMG (2008) **Object Management Group**, Disponível em <http://www.om.org> Acessado em 15/01/2008.

ORKUT (2008) Disponível em: <http://www.orkut.com>, Acessado em 18 de agosto de 2008.

PAMBOUKIAN, S.V.D.; GRINKRAUT, M.L.; PRIMERANO, A. (2007) **Análise e Discussão de Software Educacional**. Em: Tecnologia educacional e aprendizagem. Organização: Ubirajara Carnevale, Ed. Livro Pronto, São Paulo, SP.

PAPERT, S. (1986) **Constructionism: A New Opportunity for Elementary Science Education**. A Proposal to the National Science Foundation, Massachusetts Institute of Technology, Media Lab, Epistemology and Learning Group, Cambridge, Massachusetts.

PAPERT, S. (1999). **What is Logo and Who needs it**. In: Logo Philosophy and Implementation. LCSI – Logo Computer Systems Inc. 1999. p.VI-XVI.

PARSONS, D.; RYU, H.; CRANSHAW, M. (2006) **A Study of Design Requirements for Mobile Learning Environments**, Proceedings of the Sixth International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'06).

PARTICIO, N.S.; FICHEMAN, I.K.; FRANCO, J.F.; LOPES, R.D. (2007) **The Piano Game: using Low Cost Mobile Platforms for Music Education**. IADIS International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age, Algarve, Portugal, 2007.

PATRICIO, N.S.; FICHEMAN, I.K.; LOPES, R.D. (2008) **Jogo do Piano: software livre na educação musical**, IX Workshop de Software Livre, Porto Alegre, Abril 2008, anais em CD, pp. 69-74.

PIAGET, J. (1972) **The Principles of Genetic Epistemology**, Routledge & Kegan Paul, Londres, Reino Unido.

PICKETT, S.T.A.; CADENASSO, M.L. (2002) **The Ecosystem as a Multidimensional Concept: Meaning, Model and Metaphor Ecosystems**, Ecosystems Journal, Springer, New York, 5, 1-10, 2002.

PINHO, M. S.; KIRNER, C. (2001). **Uma Introdução à Realidade Virtual**. Disponível em: <http://grv.inf.pucrs.br/Pagina/TutRV/tutrv.htm>. Acessado em: 20 de julho de 2006.

PNE (2007) **Plano de Metas Compromisso Todos pela Educação**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Decreto/D6094.htm Acessado em: Fevereiro/2008.

PRENSKY, M. (2001). **On the Horizon**. NCB University Press, Vol.9 No.5, October 2001.

PRENSKY, Marc (2003). **Digital game based learning. Exploring the Digital Generation**. Educational Technology, US Department of Education.

PRESIDÊNCIA. (2007) Decreto N°6.094, **Plano de Metas Compromisso Todos pela Educação**, Presidência da República, Casa Civil, Abril 2007, Acessível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Decreto/D6094.htm Acessado: Fevereiro 2008.

QUINN, C. (2000). **mLearning: Mobile, Wireless, In-Your-Pocket Learning**, Disponível em <http://www.linezine.com/2.1/features/cqmmwiyp.htm> Acessado em 5/jan/2008.

RAINES, Claire. (2002). **Managing Millennials**. Disponível em: <http://www.generationsatwork.com/articles/millenials.htm> Acessado em: 18/08/2008.

RESNICK, M. (2003). **Thinking like a Tree (and other Forms of Ecological Thinking)**, International Journal of Computers for Mathematical Learning, 8, Kluwer Academic Publishers. Netherlands. pp 43-62.

RESNICK, M. (2004). **Edutainment? No Thanks. I Prefer Playful Learning**. Associazione Civita Report on Edutainment. Disponível em: <http://web.media.mit.edu/~mres/papers/edutainment.pdf> Acessado em: Jan 2008.

RESNICK, M. (2006). **Computer as Paintbrush: Technology, Play and the Creative Society**, Singerm D., Golikoff, R., and Hirsh-Pasek, K. (eds), Play = Learning: How play motivates and enhances children's cognitive and social-emotional growth, Oxford University Press.

RESNICK, M. (2007) **Sowing the Seeds for a More Creative Society**. Learning and Leading with Technology, International Society for Technology in Education, Dec-Jan 2007-08, pp.18-22.

RICKLEFS, R.E. (1996) **A Economia da Natureza**. Editora Guanabara Koogan S.A., Rio de Janeiro, RJ. Terceira Edição.

RILEY, D. (1990) **Learning about Systems by Making Models**. Computers and Education, Vol. 15, No. 1-3. pp. 255-263.

ROCHA, H.V. (2002) **O Ambiente TelEduc Educação a Distância baseada na Web: Princípios, Funcionalidades e Perspectivas de Desenvolvimento**. Em: Moraes, M.C. (Org.) Educação a distância: Fundamentos e práticas. Campinas, SP. UNICAMP /NIED. 2002. cap. 11. p.197-212.

SAVERY, J.; DUFTY, T.M. (1996) **Problem-based learning: An instructional model and its constructivist framework**. In B. Wilson (Ed.) Constructivist learning environments: Case studies in instructional design (pp. 135-148). Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.

SEDLITZ, S.R. (2003) **Back to " Tribal Fires"? Explicit and Tacit Knowledge, Formal and Informal Learning, Towards a New Learning Ecosystem**. Druid Summer Conference, 2003, Copenhagen, June 12-14, 2003. Disponível em: http://www.druid.dk/uploads/tx_picturedb/ds2003-861.pdf Acessado em: 12/01/2008.

SHARPLES, M.; ARNEDILLO-SÁNCHEZ, I.; MILRAD, M.; VAVOULA, G. (2007a) **MOBILE LEARNING: Small devices, Big issues**, Technology Enhanced Learning: Principles and Products, capítulo 14.

SHARPLES, M.; CORLETT, D.; WESTMANCOTT, O. (2002) **The Design and Implementation of a Mobile Learning Resource**. Personal and Ubiquitous Computing. Springer-Verlag London, 2002. pp 220-234.

SHEPPARD, Beverly. **The 21st century learner: premises and goals**. Disponível em: <http://www.ims.gov/whatsnew.current/sp110900.htm> Acessado em: 18/08/2008.

SHERMAN, W. R.; CRAIG, A. B., (2003) **Understanding Virtual Reality: Interface, Application and Design**. Morgan Kaufmann, 1ª ed. 582p

SHIFLET, A.B. (2002) **STELLA Tutorial**. Disponível em: <http://www.wofford.edu/ecs/> Acessado em: 06/06/2008.

SIEMENS, G. (2005) **Connectivism: A Learning Theory for the Digital Age**, International Journal of Instructional Technology and Distance Learning, Jan. 2005, Vol. 2. No. 1. pp 3-10.

- SIEMENS, G. (2005). **Designing Ecosystems versus designing learning**. Connectivism Blog, Disponível em <http://www.connectivism.ca/blog/32> Acessado em: 18/08/2008.
- SISCOUTTO, R. A.; SZENBERG, F.; TORI, R.; RAPOSO, A. B; CELES, W.; GATTASS, M. (2004) **Estereoscopia**. In: Kirner, C.; Tori, R. (eds). "Realidade Virtual: Conceitos e Tendências". Livro do Pré-Simpósio 2004. Cap. 11, p179-201. Ed. Mania de Livro, São Paulo.
- SOUZA, I.A. (2007) **Simulador de Realidade Virtual para o Treinamento de Biópsia por Agulha de Nódulos de Glândula Tireóide**, Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.
- STELLA (2008) **Systems Thinking for Education and Research**, Disponível em: <http://www.iseeesystems.com/software/Education/StellaSoftware.aspx> Acessado em: 21/07/2008.
- SWANWICK, K.; TILLMAN, J. (1986) **The sequence of musical development: a study of children's compositions**. British Journal of Music Education, 3. 1986. p.305-339.
- SYVÄNEN, A.; BEALE, R.; SHARPLES, M.; AHONEN, M.; LONSDALE, P. (2005). **Supporting Pervasive Learning Environments: Adaptability and Context Awareness in Mobile Learning**, Proceedings of the 2005 IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education, Tokushima, Japan.
- TAPIA, J. A., FITA; E. C. (1999). **A motivação em sala de aula – o que é, como se faz**. Ed. Loyola Ltda. São Paulo – SP.
- TAXLER, J.; LEACH, J. (2006). **Innovative and Sustainable Mobile Learning in Africa**, Fourth IEEE International Workshop on Wireless, Mobile and Ubiquitous Technology in Education, Atenas, Grécia, 16-17 de novembro de 2006.
- TORI, R; KIRNER, C.; SISCOUTO, R. (2006) **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**, Editora SBC, Porto Alegre, 2006.
- UDEN, L.; DAMIANI, E. (2007) **The future of E-learning: E-learning ecosystem, 2007**, Inaugural IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies, Cairns Australia, pp 113-117
- VALENTE, J.A. (1993). **Computadores e Conhecimento: repensando a educação**. Gráfica da UNICAMP. Campinas.
- VAVOULA, G. AND SHARPLES, M. (2002b). **KleOS: A Personal, Mobile, Knowledge and Learning Organization System**. Proceedings of IEEE Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education, Vaxjo, Sweden, pp 152-157.

- VAVOULA, G.; LEFRERE, P.; O'MALLEY, C.; SHARPLES, M.; TAYLOR, J. (2004). **Producing Guidelines for Learning, Teaching and Tutoring in a Mobile Environment**. Proceedings of the Second IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education, Taoyuan, Taiwan.
- VENDRUSCOLO, F.; DIAS, J. A.; BERNARDI, G.; CASSAL, M. L (2005) **Escola Tri-Legal – um Ambiente Virtual como Ferramenta de Apoio ao Ensino Fundamental através de Jogos Educacionais**. Colabor@ - Revista digital da CVA-RICESU, Vol 3, nº9.
- VYGOTSKY, L. S. (1978) **Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes**, Harvard University Press, Boston, USA.
- WAGNER, D. AND SCHMALSTIEG, D. (2003). **ARToolKit on the PocketPC platform**, Proceedings of the IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop, October, 2003.
- WANG, K.T.; HUANG, Y.M.; JENG, Y.L.; Wang, T.I. (2008). **A blog-based dynamic learning map**. Computers and Education, 51 (2008) 262-278.
- WENGER, E. (1998) **Communities of Practice: Learning, Meaning , and Identity**, Ed. Cambridge University Press, 1998, Cambridge, USA.
- WIKIPEDIA (2008) Disponível em: <http://www.wikipedia.org>, Acessado em: 18 de agosto de 2008.
- WILKINSON, D.L. (2002) **The Intersection of Learning Architecture and Instructional Design in e-Learning**. In: Proceedings of the 2002 eTEE e-Technologies in Engineering Education, 11-16 Agosto, Davos, Suíça, pp. 213-220.
- XO (2007) **One Laptop Per Child**, Disponível em: <http://www.laptop.org>, Acessado em: 31 de agosto de 2007.
- YANG, S.J.H. (2006) **Context Aware Ubiquitous Learning Environments for Peer-to-Peer Collaborative Learning**, Educational Technology & Society, 9(1), 188-201.
- ZEVE, C. M. D. et al. (2000) **Aprendizagem Colaborativa: A Utilização de CD-Rom e Internet em um Sistema Integrado**, XI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. Maceió. 2000.
- ZHAO, Y.; FRANK, K.A.(2003) **Factors Affecting Technology Uses in Schools: An Ecological Perspective**, American Educational Research Journal; Winter 2003; 40,4; ABI/INFORM Global
- ZUFFO, M.K. (2001a) **A Convergência da Realidade Virtual e Internet Avançada em Novos Paradigmas de TV Digital Interativa**. 91p. Tese de Livre Docência – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ZUFFO, M.K. et al. (2001b) **CAVERNA DIGITAL – um ambiente de multiprojecao para imersão do usuário em realidades artificiais**. IV Congresso Arte e Ciência – Mito e Razão. Centro Mario Schenberg, São Paulo. 2001. p.45-54.

GLOSSÁRIO DE TERMOS INGLÊS-PORTUGUÊS

Blended learning – Aprendizagem mesclada

Design – Projeto

Distance Learning – Educação a Distância

e-Learning – Aprendizagem mediada pela tecnologia

Extreme Programming – Programação Extrema

Framework – Arcabouço

Hiperlink – Ligação entre páginas *Web*

Informal learning – Aprendizagem Informal

Just-in-time – Produção ou entrega por demanda

Laptop – Computador Móvel

m-Learning – Aprendizagem Móvel

Net – Teia Mundial (sinónimo de *Web*)

On demand – Sob demanda

Software – Aplicativo

Stakeholders – Mantenedores

Ubiquitous Learning – Aprendizagem Ubíqua

Videogame – Videojogo

Web – Teia Mundial

Weblogs ou Blogs – Caderno ou diário digital

GLOSSÁRIO DE TERMOS GREGO-PORTUGUÊS

ΒΙΟΣ (BIOS) – vida

ΒΙΟΤΙΚΟΣ (BIÓTICOS) – bióticos

ΕΙΡΗΝΗ (IRENE) - paz

ΓΕΑ (GAIA) – mãe Terra

ΧΟΛΟΣ (HOLOS) – todo, visão integrada

ΗΜΟΙΟΣ (HOMOIOS) – semelhante

ΛΟΓΟΣ (LOGOS) – ciência

ΟΙΚΟ (OIKO) – casa

ΟΙΚΟΣΥΣΤΙΜΑ (OIKOSISTIMA) – ecossistema

ΣΥΣΤΙΜΑ (SISTIMA) – regime

ΣΤΑΤΙΣ (STATIS) – situação

ΤΟΠΟΣ (TOPOS) – lugar