Uma contribuição ao estabelecimento de uma arquitetura de referência para ambientes de aprendizagem móvel

Nemésio Freitas Duarte Filho

SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito:

Assinatura: _____

Nemésio Freitas Duarte Filho

Uma contribuição ao estabelecimento de uma arquitetura de referência para ambientes de aprendizagem móvel

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

Área de Concentração: Ciências de Computação e Matemática Computacional

Orientadora: Profa. Dra. Ellen Francine Barbosa

USP – São Carlos
Julho de 2016

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Achille Bassi
e Seção Técnica de Informática, ICMC/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F699u

Filho, Nemésio Freitas Duarte
Uma contribuição ao estabelecimento de uma arquitetura de referência para ambientes de aprendizagem móvel / Nemésio Freitas Duarte Filho; orientadora Ellen Francine Barbosa. - São Carlos - SP, 2016.
210 p.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Ciências de Computação e Matemática Computacional) - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, 2016.

1. Arquiteturas de Referência. 2. Ambientes de Ensino e Aprendizagem. 3. Aprendizagem Móvel (*m-learning*). 4. Arquiteturas Orientadas a Serviço (SOA). I. Barbosa, Ellen Francine, orient. II. Título.

Nemésio Freitas Duarte Filho

A contribution to the establishment of a reference architecture for mobile learning environments

Doctoral dissertation submitted to the Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – ICMC-USP, in partial fulfillment of the requirements for the degree of the Doctorate Program in Computer Science and Computational Mathematics. *FINAL VERSION*

Concentration Area: Computer Science and Computational Mathematics

Advisor: Profa. Dra. Ellen Francine Barbosa

USP – São Carlos
July 2016

Dedico este trabalho aos meus pais, Analice de Paula Mello Duarte e Nemésio Freitas Duarte. Desde sempre batalharam para que um dia eu pudesse realizar os meus sonhos e atingir os meus objetivos. Mesmo com diversas dificuldades sempre se preocuparam com a educação e a formação pessoal dos seus filhos. Obrigado queridos pais.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Analice de Paula Mello Duarte e Nemésio Freitas Duarte, e toda minha família (irmão, primos, tios e avós) pelo apoio que me deram ao longo destes quatro anos, me dando todas as oportunidades e incentivos para concluir este doutorado.

Agradeço imensamente a minha orientadora Ellen Francine Barbosa. Não foi simplesmente uma orientadora, mas sim, uma grande amiga. Confiou desde o início no meu trabalho, criticou e questionou quando precisou, mas ajudou, motivou e incentivou durante toda a sua orientação, enfim, foi uma grande orientadora e amiga.

Agradeço especialmente a minha esposa Maria Izabel Marim Pita Duarte que esteve comigo desde o início do meu doutorado. Sempre ao meu lado, me incentivando, elogiando, criticando, cobrando, corrigindo, rindo, chorando, viajando, comendo....vivendo intensamente ao longo desses quatro anos.

Agradeço ao IFSP - campus São João da Boa Vista, juntamente com os professores, diretores, funcionários e técnicos pela ajuda e incentivo ao longo desses dois anos.

Agradeço aos amigos Sandro Rodrigues Gontijo e Fabiana Luca Alves, respectivamente pelos conselhos psicológicos em mesas de bares; e as aulas particulares de inglês de extrema urgência antes dos congressos internacionais.

Agradeço aos amigos, colegas e professores do Laboratório de Engenharia de Software do ICMC-USP (LabES) e do Laboratório de Computação Aplicada à Educação e Tecnologia Social Avançada (CaEd) pela ajuda e motivações ao longo desses quatro anos.

Agradeço também ao Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (ICMC/USP), juntamente com os seus funcionários, alunos e professores, pela oportunidade, suporte e apoio ao longo do meu doutorado.

Por fim, agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (processo 2012/04053-9) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro ao longo do doutorado.

“Sorte é quando a PREPARAÇÃO
encontra a OPORTUNIDADE.”
(Elmer G. Letterman)

RESUMO

DUARTE FILHO, N. F.. **Uma contribuição ao estabelecimento de uma arquitetura de referência para ambientes de aprendizagem móvel**. 2016. 210 f. Tese (Doutorado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC/USP), São Carlos – SP.

O desenvolvimento e a utilização de ambientes computacionais como apoio ao ensino e aprendizagem, aliados à evolução da computação móvel, têm contribuído significativamente para o estabelecimento de uma nova modalidade de ensino conhecida como aprendizagem móvel ou *mobile learning (m-learning)*. Nesse cenário emergente, os ambientes educacionais existentes, mesmo possuindo diversos benefícios e facilidades no que diz respeito ao ensino e aprendizagem, apresentam problemas e desafios que precisam ser explorados. Um dos aspectos relevantes a ser investigado refere-se ao estabelecimento e adoção de padrões arquiteturais. De fato, grande parte desses ambientes é construída de forma isolada, possuindo arquiteturas e estruturas próprias, o que pode impactar negativamente a capacidade de padronização. O presente trabalho de pesquisa insere-se neste contexto, tendo como principal objetivo investigar e definir uma arquitetura de referência orientada a serviço voltada para ambientes de aprendizagem móvel. Tal arquitetura, denominada *Ref-mLearning*, visa contribuir para a evolução, reúso e interoperabilidade desses ambientes, possibilitando ainda um aumento na qualidade e redução de custos durante o seu desenvolvimento. Resultados alcançados por meio de avaliações e condução de um estudo de caso demonstram que a *Ref-mLearning* é uma arquitetura viável possuindo uma boa estrutura e organização para o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel orientados a serviço.

Palavras-chave: Arquiteturas de Referência, Ambientes de Ensino e Aprendizagem, Aprendizagem Móvel (*m-learning*), Arquiteturas Orientadas a Serviço (SOA).

ABSTRACT

DUARTE FILHO, N. F.. **Uma contribuição ao estabelecimento de uma arquitetura de referência para ambientes de aprendizagem móvel**. 2016. 210 f. Tese (Doutorado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC/USP), São Carlos – SP.

The development and use of computational environment to support the teaching and learning, together with the evolution of mobile computing, have contributed significantly to the establishment of a new mode of teaching known as mobile learning (m-learning). In this emerging scenario, the existing educational environments, despite having various benefits and facilities with regard to teaching and learning, present problems and challenges that need to be explored. An important aspect to be investigated refers to the establishment and adoption of architectural patterns. In fact, many of these environments is built in isolation, possessing own architectures and structures, which may negatively impact the standardization capacity. This research work is part of this context, the main objective to investigate and define a service-oriented reference architecture for mobile learning environments. Such an architecture, called Ref-mLearning, aims to contribute to the evolution, reuse and interoperability of these environments, still enabling an increase in quality and cost reduction during its development. Results achieved through evaluations and conducting a case study show that Ref-mLearning is a viable architecture having a good structure and organization for the development of a service-oriented mobile learning environment.

Key-words: Reference Architectures, Teaching and Learning Environments, Mobile Learning (m-learning), Service-Oriented Architectures (SOA).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Benefícios dos dispositivos móveis frente ao *m-learning* 31
Figura 2 – Telas do ambiente *Blackboard Mobile* 37
Figura 3 – Tela inicial do ambiente *Desire2Learn* 37
Figura 4 – Tela do ambiente *Mobl21* 38
Figura 5 – Telas de acesso e navegação do ambiente *Amadeus Mobile* 38
Figura 6 – Tela de acesso e navegação do ambiente *MLE-Moodle* 39
Figura 7 – Tela de navegação do ambiente *Mobile Sakai* 40
Figura 8 – Tela de navegação do ambiente *Redu Mobile* 40
Figura 9 – Relação entre modelo de referência, estilo de arquitetura e arquitetura de referência. 45
Figura 10 – Relação entre arquiteturas concretas e de referência. 47
Figura 11 – Visão Geral do ProSA-RA. 49
Figura 12 – Componentes básicos da Arquitetura SOA. 52
Figura 13 – Estrutura de uma mensagem SOAP. 53
Figura 14 – Estrutura de um documento WSDL. 54
Figura 15 – Estrutura genérica de uma orquestração. 56
Figura 16 – Estrutura genérica de uma coreografia. 57
Figura 17 – Etapas da Revisão Sistemática 63
Figura 18 – Mental: Características e Requisitos para Aprendizagem Móvel 65
Figura 19 – Arquitetura orientada a serviços baseada em contextos de aprendizagem. . . 83
Figura 20 – Arquitetura genérica para sistema de aprendizagem móvel. 84
Figura 21 – Arquitetura para sistemas de aprendizagem móvel. 86
Figura 22 – Arquitetura Web para sistemas de aprendizagem móvel. 87
Figura 23 – Arquitetura de Referência proposta por Arsanjani *et al.* (2007). 91
Figura 24 – Arquitetura de Referência (SOA II) proposta por Lan, Liu e Chai (2008). . . 91
Figura 25 – Arquitetura de referência segmentada em componentes e camada. 96
Figura 26 – Arquitetura de referência para ambientes educacionais. 97
Figura 27 – Representação abstrata dos serviços educacionais. 97
Figura 28 – Aspectos tecnológicos para a realização de trocas de mensagens. 98
Figura 29 – EDUCAR - Estrutura Geral. 99
Figura 30 – Arquitetura de *e-learning* baseado nos princípios do *cloud computing*. . . . 101
Figura 31 – Visão geral *Ref-mLearning*. 109
Figura 32 – Visão de módulos da *Ref-mLearning*. 114

Figura 33 – Visão em tempo de execução da *Ref-mLearning*. 116
Figura 34 – Visão de Implantação da *Ref-mLearning*. 118
Figura 35 – Estrutura Geral do RAModel. 122
Figura 36 – Organização e aplicação do formulário. 128
Figura 37 – Divisão dos Formulários. 128
Figura 38 – Resultado Geral da Avaliação. 130
Figura 39 – Resultado – Avaliação com Especialistas. 130
Figura 40 – Resultado – Avaliação com Arquitetos. 131
Figura 41 – Processo de Especialização Arquitetural 135
Figura 42 – *Ref-mLearnig*: Cenário de Aplicação 1. 136
Figura 43 – *Ref-mLearnig*: Cenário de Aplicação 2. 136
Figura 44 – Especialização Parcial da Arquitetura Concreta: Primeiro Cenário 137
Figura 45 – Especialização da Arquitetura Concreta: Segundo Cenário 139
Figura 46 – Protótipo ICMC MLE: Visão Geral. 142
Figura 47 – Design responsivo do protótipo ICMC MLE. 143
Figura 48 – Atividade 1 - Leitura. 147
Figura 49 – Atividade 2 - Discussão. 148
Figura 50 – Atividade 3 - *Quizz*. 148
Figura 51 – Experiência dos alunos participantes. 149
Figura 52 – Satisfação dos participantes em relação ao ICMC MLE. 150
Figura 53 – Aceitação de utilização prática em relação ao ICMC MLE. 150
Figura 54 – Resultados da análise da Atividade 1. 151
Figura 55 – Resultados da análise da Atividade 2. 152
Figura 56 – Resultados da análise da Atividade 3. 152
Figura 57 – Mental: Características e Requisitos para Aprendizagem Móvel 184
Figura 58 – Visão geral *Ref-mLearning*. 185
Figura 59 – Visão de módulos da *Ref-mLearning*. 186
Figura 60 – Visão em tempo de execução da *Ref-mLearning*. 187
Figura 61 – Visão de Implantação da *Ref-mLearning*. 188

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aspectos positivos e negativos associados ao *m-learning* 32
Tabela 2 – Resultado Parcial da Revisão Sistemática 63
Tabela 3 – Resultado Final da Revisão Sistemática 64
Tabela 4 – Síntese dos Trabalhos em relação às Características Arquiteturais. 89
Tabela 5 – Relação das arquiteturas e modelos de referência analisados 90
Tabela 6 – Relacionamento entre os conceitos da orientação a serviços com diretrizes funcionais 93
Tabela 7 – Relação dos trabalhos analisados por Oliveira e Nakagawa (2010). 94
Tabela 8 – Verificação dos conceitos chaves de SOA em arquiteturas SOA para aplicações com domínio específico 94
Tabela 9 – Relacionamento entre requisitos arquiteturais e conceitos chaves do domínio de aprendizagem móvel. 104
Tabela 10 – Relacionamento entre os requisitos arquiteturais e conceitos chaves de SOA. 105
Tabela 11 – Relacionamento entre requisitos arquiteturais e conceitos chaves de sistemas de aprendizagem genéricos. 107
Tabela 12 – Elementos do Grupo Domínio. 122
Tabela 13 – Elementos do Grupo de Aplicação. 123
Tabela 14 – Elementos do Grupo de Infraestrutura. 123
Tabela 15 – Elementos do Grupo de Elementos Transversais. 123
Tabela 16 – Comparativo dos elementos do RAModel com os Elementos da *Ref-mLearning*. 124
Tabela 17 – Exemplo de questões do formulário. 129
Tabela 18 – Funcionalidades/Serviços implementados e consumidos em relação ao protótipo. 140

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 23
1.1 Contextualização 23
1.2 Motivação 25
1.3 Objetivos 26
1.4 Organização 27

2 APRENDIZAGEM MÓVEL (*M-LEARNING*) 29
2.1 Considerações Iniciais 29
2.2 Terminologia e Conceitos Gerais 30
2.3 Ambientes de Aprendizagem Móvel 33
2.3.1 Exemplos de Ambientes de Aprendizagem Móvel 36
2.4 Considerações Finais 40

3 ARQUITETURA DE SOFTWARE 43
3.1 Considerações Iniciais 43
3.2 Terminologia e Conceitos Gerais 44
3.3 Arquiteturas de Referência 46
3.3.1 O Processo Prosa-RA 49
3.4 Arquiteturas Orientada a Serviços (SOA) 51
3.4.1 Composição de Serviços 55
3.5 Considerações Finais 57

4 CATÁLOGO DE REQUISITOS PARA AMBIENTES EDUCACIONAIS MÓVEIS 59
4.1 Considerações Iniciais 59
4.2 Revisão Sistemática: Planejamento e Execução 60
4.3 Proposta do catálogo de requisitos 64
4.4 Priorização e Relevância 65
4.5 Descrição dos Critérios e Requisitos 67
4.5.1 Critérios Técnicos 67
4.5.2 Critérios Educacionais 71
4.5.3 Critérios Econômicos 74
4.5.4 Critérios Sócio-Culturais 76
4.6 Considerações Finais 78

5 ESTABELECIMENTO DE UMA ARQUITETURA DE REFERÊNCIA ORIENTADA A SERVIÇOS PARA AMBIENTES DE APRENDIZAGEM MÓVEL . . . 79
5.1 Considerações Iniciais . . . 79
5.2 Investigação das Fontes de Informação . . . 80
5.2.1 Arquiteturas Concretas relacionadas a Ambientes de Aprendizagem Móvel . . . 80
5.2.2 Arquiteturas e Aspectos Orientados a Serviço . . . 89
5.2.3 Arquiteturas de Referência para o Domínio Educacional . . . 95
5.3 Estabelecimento dos Requisitos Arquiteturais . . . 102
5.3.1 Requisitos Arquiteturais para o Domínio de Aprendizagem Móvel . . . 102
5.3.2 Requisitos Arquiteturais para o Domínio de Serviços . . . 104
5.3.3 Requisitos Arquiteturais para Sistemas de Aprendizagem Genéricos 106
5.4 Projeto da Arquitetura de Referência . . . 107
5.4.1 Visão Geral . . . 108
5.4.2 Visão de Módulos . . . 113
5.4.3 Visão em Tempo de Execução . . . 115
5.4.4 Visão de Implantação . . . 117
5.5 Avaliação da Arquitetura de Referência . . . 119
5.5.1 Comparativo com o modelo de referência RAModel . . . 120
5.5.2 Checklist de Avaliação com Especialistas . . . 126
5.6 Considerações Finais . . . 132

6 ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO E USO DA *REF-MLEARNING* . 133
6.1 Considerações Iniciais . . . 133
6.2 Cenários da *Ref-mLearning* . . . 134
6.3 Instanciação do ambiente ICMC MLE . . . 140
6.4 Estudo Experimental do Ambiente ICMC MLE . . . 143
6.4.1 Instrumentação . . . 145
6.4.2 Procedimentos . . . 146
6.4.3 Execução do Experimento . . . 146
6.4.4 Análise dos Resultados . . . 148
6.4.5 Experiência dos Participantes . . . 149
6.4.6 Satisfação do ICMC MLE . . . 149
6.4.7 Cobertura e notas em relação às atividades executadas . . . 151
6.4.8 Riscos à Validade do Experimento . . . 153
6.4.9 Considerações Finais . . . 154

7 CONCLUSÃO . . . 157
7.1 Considerações Iniciais . . . 157

7.2 Visão Geral da Pesquisa Realizada 157
7.3 Contribuições 159
7.4 Trabalhos Futuros 160
7.5 Produção Científica 161
7.5.1 Publicações Relacionadas 161
7.5.2 Publicações Inter-Relacionadas 162

REFERÊNCIAS 165

APÊNDICE A QUESTIONÁRIO DE CARACTERÍSTICAS E REQUISITOS PARA AMBIENTES DE APRENDIZAGEM MÓVEL 175

APÊNDICE B *CHECKLIST* AVALIATIVO DA *REF-MLEARNING* . . 181

CAPÍTULO

1

INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se uma visão geral do presente trabalho de doutorado, destacando o contexto no qual a pesquisa está inserida, bem como as principais motivações, justificativas e objetivos do trabalho.

1.1 Contextualização

Nos últimos anos, temas relacionados ao ensino e aprendizagem têm sido discutidos e estudados pela comunidade científica. Em especial, ambientes computacionais de aprendizagem têm apresentando uma crescente importância, tendo um papel fundamental em atividades de ensino e treinamento, sendo relevantes não apenas no âmbito acadêmico como também no meio industrial (TRAXLER; VOSLOO, 2014; SVETLANA; YOON, 2009).

O avanço tecnológico possibilitou uma nova realidade educacional. A integração entre as práticas educacionais juntamente com os ambientes virtuais tem provocado uma mudança de comportamento nos aprendizes, professores e tutores em relação ao processo de ensino e aprendizagem (SVETLANA; YOON, 2009). Um de seus efeitos é o aumento crescente da quantidade de informação disponível e acessível aos usuários.

Além disso, ambientes virtuais de ensino flexibilizam a possibilidade de contato entre os participantes do processo de aprendizagem por meio da comunicação pela Internet. A evolução desses ambientes acontece mediante o progresso da tecnologia, apoiando e adequando-se às práticas pedagógicas necessárias, fatores esses primordiais para a promoção de uma melhoria significativa do processo ensino e aprendizagem (O'MALLEY *et al.*, 2003; KUKULSKA-HULME; SHARPLES, 2015).

Tais ambientes, juntamente com o advento e desenvolvimento da computação ubíqua, contribuíram para o surgimento de uma nova modalidade de ensino - a aprendizagem móvel ou *mobile learning (m-learning)* (KINSHUK *et al.*, 2003; NAH; WHITE; SUSSEX, 2008;

O'MALLEY *et al.*, 2003; WEXLER *et al.*, 2008; SHARPLES *et al.*, 2014). De modo geral, a aprendizagem móvel caracteriza-se pela capacidade de proporcionar uma forte interação entre os aprendizes, professores e tutores, possibilitando aos mesmos contribuir, participar e acessar o ambiente de ensino por meio de dispositivos móveis (celulares, *tablets*, *laptops*, rádio, tv, entre outros).

Para proporcionar maior comodidade aos aprendizes e facilitar o acesso e utilização de materiais didáticos, a aprendizagem móvel utiliza-se das tecnologias de redes sem fio, *Bluetooth*, *Wireless Application Protocol* (WAP), *General Packet Radio System* (GPRS), *Infra Red* (IR) de recursos fornecidos pela telefonia celular, Global Positioning System (GPS), realidade aumentada, acelerômetros, além das linguagens *EXtensible Markup Language* (XML) e Java, dos serviços de correio de voz e de mensagens curtas (SMS), da capacidade de transmissão de fotos, dos serviços de e-mail, redes sociais, mensagens multimídia (MMS) e vídeo sob demanda (KEEGAN, 2005; SHARPLES *et al.*, 2014).

Apesar dos benefícios ao ensino e aprendizagem, por ser um conceito relativamente novo e emergente, a aprendizagem móvel apresenta algumas limitações para sua efetiva adoção e utilização, tais como (SVETLANA; YOON, 2009; KUKULSKA-HULME; SHARPLES, 2015): poder de processamento reduzido; tela de tamanho variável (às vezes monocromática); energia limitada (dependente de baterias); comunicação com taxas de transmissão geralmente menores do que as das redes fixas; diferentes sistemas operacionais; ausência de modelos de modelagem educacional; falta de incentivo e financiamento de projetos; aceitação por parte de professores e diretores de ensino; descrença social; dificuldades na construção e autoria de material didático; aspectos de usabilidade; carência de padrões arquiteturais; entre outros.

Considerando a necessidade de se construir ambientes de aprendizagem móvel com qualidade e possibilidade de reúso, esforços para o desenvolvimento de padrões arquiteturais são relevantes, permitindo reutilizar toda a arquitetura de um sistema em novos projetos semelhantes, facilitando a sua evolução, manutenção e qualidade de desenvolvimento. Arquiteturas de software, juntamente com aspectos da arquitetura SOA (*Service Oriented Architecture*), têm ganhado grande destaque e importância dentro da Engenharia de Software (OTON *et al.*, 2010; PALANIVEL; KUPPUSWAMI, 2011). De fato, por constituírem uma das estruturas principais de sistemas de software, arquiteturas de software têm desempenhado um papel fundamental na determinação da qualidade em sistemas em geral (SHAW; GARLAN, 1996; WASSERMAN, 1996).

Dentro do tema de arquiteturas de software, destaca-se o conceito de arquiteturas de referência, as quais vêm emergindo como um elemento importante para a definição de um domínio específico por meio de módulos e suas relações (BASS; CLEMENTS; KAZMAN, 2003; AFFONSO; RODRIGUES, 2012; AFFONSO; NAKAGAWA, 2013). Um dos principais benefícios das arquiteturas de referência é a possibilidade do reúso de experiências de projeto por meio do entendimento de um domínio específico e comum. Por essa razão, arquiteturas de referência

para diferentes domínios têm sido exploradas em diversos trabalhos (ARSANJANI *et al.*, 2007; COSTAGLIOLA; FERRUCCI; FUCCELLA, 2008; NAKAGAWA; MALDONADO, 2007; PERISTERAS *et al.*, 2009; AFFONSO; NAKAGAWA, 2013; ADDO *et al.*, 2014; FIORAVANTI; NAKAGAWA; BARBOSA, 2010; GROSSKURTH; GODFREY, 2005).

Este trabalho tem como principal objetivo a investigação e proposta de uma arquitetura de referência orientada a serviço para ambientes de aprendizagem móvel. Em linhas gerais, a ideia é que a arquitetura definida proporcione benefícios quanto à compreensão do domínio e estabelecimento de um vocabulário comum em relação a esse novo contexto de aprendizagem. Sendo orientada a serviço, a arquitetura também ajuda na interoperabilidade e reúso arquitetural, possibilitando maior qualidade de projeto e diminuição do tempo gasto no desenvolvimento de tais ambientes.

1.2 Motivação

De acordo com Buschmann *et al.* (1996) e Gamma *et al.* (2000), a arquitetura dos sistemas de software é um componente fundamental para possibilitar um bom andamento a todo o processo de desenvolvimento de software. No contexto de arquiteturas de software, arquiteturas de referência representam um padrão ou um conjunto de padrões de arquitetura pré-definido, possivelmente parcial ou totalmente instanciado em relação a um domínio de aplicação. Quando uma arquitetura de referência está bem definida, a construção de aplicações de software tende a ser simples e direta, pois as soluções para os problemas já foram previamente estudadas e analisadas.

Nessa perspectiva, os ambientes de aprendizagem móvel não fogem à regra de qualquer outro sistema de software existente. Pelo contrário, tais aplicações, por possuírem uma quantidade de usuários não determinada, juntamente com a utilização de aspectos ubíquos e de mobilidade, apresentam requisitos que normalmente não são tratados em um desenvolvimento de software convencional (ECONOMIDES, 2008). Desse modo, é importante que requisitos arquiteturais sejam levantados e compreendidos a fim de se elaborar uma arquitetura de referência adequada e padronizada ao domínio dessas aplicações.

Devido à falta de padronização dos ambientes de aprendizagem móvel, dificuldades quanto à utilização, integração, manutenção e reutilização desses ambientes são muito comuns ao longo de seu desenvolvimento. Nesse contexto, a utilização do estilo arquitetural SOA (*Service Oriented Architecture*) pode flexibilizar a construção e utilização dos ambientes educacionais móveis, melhorando a disponibilidade, interoperabilidade e reúso das práticas educacionais (ERL, 2009). A definição de uma arquitetura de referência orientada a serviços para o domínio em questão é importante no sentido de estabelecer diretrizes necessárias para apoiar as práticas educacionais, constituindo uma padronização para o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel.

Observa-se, ainda, uma carência de arquiteturas de referência orientadas a serviços para o domínio da aprendizagem móvel, gerando dificuldades no desenvolvimento desses sistemas devido à falta de um vocabulário comum e padronizações.

1.3 Objetivos

Dada a carência de arquiteturas padronizadas para ambientes de aprendizagem móvel, o principal objetivo desta pesquisa é investigar e estabelecer uma arquitetura de referência orientada a serviço para apoiar o desenvolvimento, a compreensão do domínio, evolução e reúso dos ambientes de aprendizagem móvel. A arquitetura proposta, denominada *Ref-mLearning*, é direcionada para gestores e gerentes de projetos desta área, podendo também ser utilizada por professores e tutores como forma de conhecimento no contexto da aprendizagem móvel. Espera-se, com isso, contribuir tanto para o aumento da qualidade, interoperabilidade e escalabilidade como para a redução de custos durante o desenvolvimento de ambientes desse tipo.

Para atingir o objetivo geral da pesquisa, alguns objetivos específicos são considerados ao longo deste trabalho, entre eles:

- Identificar as principais características e requisitos relacionados a ambientes de aprendizagem móvel. Este levantamento é feito por meio de uma revisão sistemática, com ênfase na literatura e na comunidade científica.

- Propor um catálogo de requisitos específicos para o domínio dos ambientes de aprendizagem móvel. O catálogo é composto por critérios e características de domínio, tendo por objetivo apoiar a definição de requisitos arquiteturais relevantes para a elaboração de uma arquitetura de referência.

- Estabelecer requisitos arquiteturais e propor a arquitetura de referência *Ref-mLearning*, dividindo a arquitetura em visões arquiteturais, visando seu melhor entendimento e facilitando sua descrição e manutenção.

- Avaliar quantitativamente e qualitativamente a *Ref-mLearning*, com a finalidade de identificar elementos relevantes e observar pontos de melhoria em relação à arquitetura de referência proposta.

- Implementar um protótipo (ICMC MLE) utilizando a arquitetura *Ref-mLearning* e planejar um estudo experimental para analisar a aceitação e aplicabilidade do ICMC MLE frente a sua utilização por aprendizes como forma de apoio ao ensino presencial.

1.4 Organização

Neste capítulo uma visão geral do trabalho foi apresentada, destacando o contexto no qual o trabalho está inserido, as principais motivações bem como os objetivos almejados na sua concretização. O restante do documento encontra-se organizado como se segue.

No Capítulo 2 são apresentados conceitos e terminologias relacionados ao tema aprendizagem móvel.

No Capítulo 3 são discutidos conceitos relacionados à arquitetura de software, dando especial atenção às arquiteturas de referência e à SOA.

No Capítulo 4 é proposto um catálogo de características e requisitos específicos para ambientes de aprendizagem móvel, possibilitado a identificação e detalhamento de requisitos arquiteturais.

No Capítulo 5 é apresentada a arquitetura *Ref-mLearning*, destacando o seu estabelecimento, conceitos gerais, modelagem e as avaliações realizadas.

No Capítulo 6 é apresentado um estudo de caso sobre a aplicação e utilização prática da arquitetura *Ref-mLearning*.

Por fim, no Capítulo 7 é sintetizada a conclusão, juntamente com as suas contribuições e trabalhos futuros.

CAPÍTULO

2

APRENDIZAGEM MÓVEL (*M-LEARNING*)

2.1 Considerações Iniciais

A aprendizagem móvel envolve o uso de tecnologias móveis, isoladamente ou em combinação com outras tecnologias de informação e comunicação (TIC), a fim de permitir a aprendizagem a qualquer hora e em qualquer lugar. A aprendizagem pode ocorrer de várias formas: as pessoas podem usar aparelhos móveis para acessar recursos educacionais, colaborar entre outras pessoas ou criar conteúdos, dentro ou fora da sala de aula (UNESCO, 2013).

A aprendizagem móvel é um ramo da TIC na educação. Entretanto, como usa uma tecnologia mais barata e mais fácil de ser gerenciada individualmente do que computadores fixos, a aprendizagem móvel requer um novo conceito para o uso de modelos tradicionais na implementação de tecnologias. Historicamente, computadores e projetos de aprendizagem eletrônica (*e-learning*) foram limitados devido aos equipamentos caros, delicados, pesados e mantidos em ambientes muito controlados. No entanto, pressupõe-se projetos de aprendizagem móvel em que os estudantes tenham acesso à tecnologia de forma ininterrupta e, em grande parte, não regulada (UNESCO, 2013).

Esta nova modalidade de ensino tem proporcionado uma grande expectativa no âmbito educacional, sobretudo devido aos benefícios e flexibilidade proporcionados ao ensino e treinamento. Um dos pontos fortes para o sucesso da aprendizagem móvel é a sua flexibilidade e adaptação frente ao contexto de uso dos aprendizes, professores e tutores, podendo adaptar-se em relação ao tempo e ao espaço de utilização (KUKULSKA-HULME; SHARPLES, 2015). Ou seja, as barreiras físicas e de tempo ficam simplificadas nesse novo contexto de aprendizagem. Outro ponto importante da adoção da aprendizagem móvel é a possibilidade, principalmente por parte dos aprendizes, de utilização de atividades educacionais frente a diferentes dispositivos móveis. Quanto maior for a facilidade de uso e a interatividade com as atividades educacionais por meio de um dispositivo móvel, maior será a possibilidade de sucesso no ensino (SVETLANA;

YOON, 2009). Para que todo este processo de aprendizagem possa acontecer de maneira efetiva, é preciso apoiar-se em plataformas e em ambientes de aprendizagem virtuais, que facilitem a comunicação, interação e colaboração entre os seus usuários.

Na Seção 2.2 são apresentadas as terminologias e conceitos gerais relacionados à aprendizagem móvel, destacando seu modo de utilização, seus benefícios e dificuldades de aplicação. Na Seção 2.3 destacam-se os ambientes de aprendizagem móvel aplicados ao contexto da educação, identificando benefícios em relação à motivação, comunicação, colaboração entre os aprendizes, professores e tutores, e exemplos de ambientes de aprendizagem móvel. Por fim, na Seção 2.4 são discutidas as considerações finais do capítulo.

2.2 Terminologia e Conceitos Gerais

Visto que o conhecimento e a economia estão cada vez mais baseados e influenciados pela Internet/Web, a educação e a busca por aprendizagem tornam-se uma necessidade atual para qualquer pessoa que queira ser competitiva e bem-sucedida, independentemente da sua idade, sexo ou raça (FISHER, 1997; O'MALLEY, 2012). Esse cenário, associado ao rápido crescimento das tecnologias de informação e comunicação (TICs), tem favorecido o surgimento de novas modalidades de ensino, proporcionando novos meios de abordar as deficiências do ensino tradicional.

O *e-learning*, modalidade de ensino eletrônico apoiada por tecnologia, por exemplo, oferece mecanismos para o ensino a distância baseados em computadores e tecnologias de rede (KEEGAN, 2005).

Com o advento e evolução das TICs, juntamente com a computação ubíqua, é possível observar atualmente uma nova modalidade de ensino, baseada na computação móvel, denominada aprendizagem móvel ou *mobile learning* (*m-learning*) (KEEGAN, 2005; ROSCHELLE; PEA, 2002; TRAXLER; LEACH, 2006; SHARPLES *et al.*, 2014; KUKULSKA-HULME; SHARPLES, 2015).

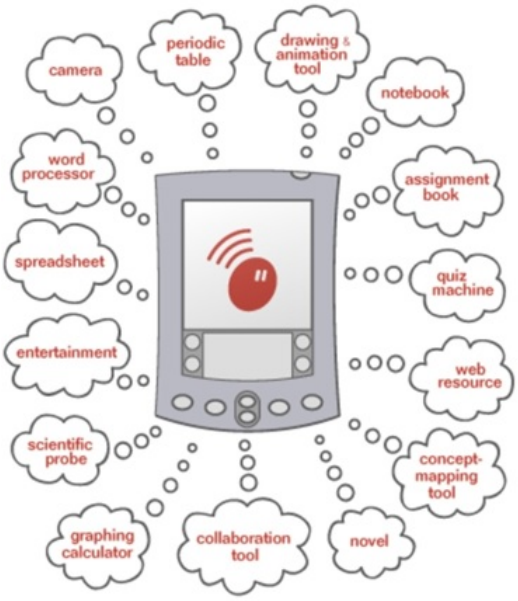
Como acontece com muitos paradigmas emergentes, há diversas tentativas para definir aprendizagem móvel. O'Malley *et al.* (2003) definem aprendizagem móvel como qualquer tipo de ensino ou aprendizagem que ocorre quando o aluno não está em algum lugar pré-determinado ou fixo, ou quando o indivíduo aproveita-se de oportunidades de aprendizagem disponibilizadas pelas tecnologias móveis, associando assim os conceitos tecnológicos e de mobilidade.

Wexler *et al.* (2008) abordam a aprendizagem móvel como uma atividade que permite aos indivíduos serem mais produtivos quando consomem, criam ou interagem com as informações, mediados por dispositivos digitais móveis e portáteis, que acompanham o indivíduo de forma regular, desde o início ao fim das tarefas.

Em outra perspectiva relacionada ao tema em questão, Kinshuk *et al.* (2003) definem aprendizagem móvel como a capacidade do uso de dispositivos portáteis para acesso a recursos de aprendizagem, enquanto Nah, White e Sussex (2008) consideram que a aprendizagem móvel se refere ao uso de celular e computador de mão, como PDAs, telefones celulares, *laptops* e *tablets* no contexto do ensino e aprendizagem.

Alguns dos principais benefícios dos dispositivos móveis face aos ambientes de aprendizagem convencionais são apresentados na Figura 1. Conforme se pode observar, os benefícios vão muito além de acessibilidade, comodidade e comunicação. Com dispositivos móveis os aprendizes podem utilizar aplicativos (processamento de texto, fotos), ambientes específicos de aprendizagem, acesso à Web, ferramentas de colaboração, redes sociais, *e-books*, entre outros. Neste contexto, a aprendizagem móvel pode expandir o alcance e a equidade do ensino, facilitar a aprendizagem individual ou colaborativa, facilitar o retorno de avaliações e desempenho dos alunos, permitir o ensino e aprendizagem a qualquer hora e lugar, apoiar o ensino fora da sala de aula (tornando-o mais controlado e gerenciado), minimizar a interrupção da educação em áreas de conflito ou desastre, auxiliar estudantes com deficiência, melhorar a relação custo-benefício, entre outros aspectos (ZURITA; NUSSBAUM, 2004; SHARPLES; CORLETT; WESTMANCOTT, 2002; UNESCO, 2013; SHARPLES *et al.*, 2014; KUKULSKA-HULME; SHARPLES, 2015; TRAXLER; VOSLOO, 2014).

Figura 1 – Benefícios dos dispositivos móveis frente ao *m-learning*



Fonte: Zurita e Nussbaum (2004).

Com a evolução da tecnologia e da inclusão digital, fica clara a relevância da aprendizagem móvel para a sociedade atual. Apesar disso, vários desafios também podem ser identificados. A Tabela 1 sumariza os principais aspectos, positivos e negativos, associados a essa nova modalidade de ensino (ROSCHELLE; PEA, 2002; TRAXLER; VOSLOO, 2014).

Tabela 1 – Aspectos positivos e negativos associados ao *m-learning*

Pontos Positivos	Pontos Negativos
Facilidade no transporte e no acesso à informação. A aprendizagem pode ser feita a qualquer hora e em qualquer lugar.	Desatualização rápida dos dispositivos e das tecnologias.
Redução de custos (dispositivos móveis são mais baratos que computadores).	Diferentes sistemas operacionais.
Reutilização de conteúdos (que já é possível no *e-learning*)	Desenvolvimento de conteúdos, a falta de conteúdos educativos e as dúvidas de quem os irá produzir e como o irá fazer.
Flexibilidade (pode ser utilizado em diversos contextos e utilizando diversos meios pedagógicos).	Tamanho e resolução da tela.
Possibilidade de aprendizagem contextualizada no ambiente real em que a pessoa se encontra inserida.	Limitações na velocidade de acesso e no limite de tráfego.
Possibilidade de novos ambientes de aprendizagem, utilizando ferramentas existentes no dispositivo móvel.	Falta de padrões em relação à aprendizagem móvel (arquitetura, modelagem de objetos de aprendizagem, entre outros)
Aumento do trabalho colaborativo.	Descrença por parte de professores e instrutores.

Fonte: Roschelle e Pea (2002).

Atualmente, a aprendizagem móvel já pode ser considerada uma iniciativa benéfica ao contexto educacional, possuindo diversos projetos e estudos de casos ao redor do mundo[1]. Longe de ser uma possibilidade teórica, a aprendizagem móvel já é uma realidade concreta, estudantes e professores já estão usando aparelhos móveis para conversar, acessar atividades e conteúdos educacionais, compartilhar informações com outros estudantes, obter apoio de seus colegas e instrutores e facilitar a comunicação produtiva (UNESCO, 2013).

Em outra perspectiva, projetada em 2009, a plataforma Nokia Life[2] leva informações e oportunidades educacionais a mais de 90 milhões de pessoas na Índia, na China, na Indonésia e na Nigéria. Os usuários do serviço escolhem os conteúdos de aprendizagem que gostariam de receber em seu aparelho de telefone celular, entre inúmeras opções, incluindo tópicos nas áreas de educação, saúde, agricultura e empreendedorismo.

O Projeto Alfabetização Móvel da UNESCO usou telefones celulares para complementar e dar apoio a um curso de alfabetização tradicional presencial, oferecido a 250 meninas adolescentes em áreas remotas do Paquistão. A única forma de comunicação com estudantes que viviam em aldeias sem computadores, ou sem conexões de internet confiáveis por linhas fixas, era por meio de telefones celulares. Instrutores do programa enviavam mensagens de texto às suas alunas, lembrando-lhes da necessidade de praticar a escrita ou pedindo que relessem trechos de um manual (UNESCO, 2013).

[1] http://www.unesco.org/new/en/unesco/themes/icts/m4ed/mobile-learning-resources/

[2] http://foundationchange.org/nokia-life-tools/

O programa *Ecosystems Mobile Outdoor Blended Immersion Learning Environment* (EcoMOBILE)[3] permite que alunos do ensino médio aprendam mais sobre o ecossistema de uma lagoa. Em uma excursão escolar, os estudantes usam seus aparelhos móveis para explorar as áreas em torno de determinadas lagoas na América do Norte. Ao chegarem a certos locais, eles recebem perguntas e recursos, e são estimulados a coletar dados para aprofundar suas investigações. Esse programa interativo, tornado possível graças à integração da tecnologia *global positioning system* (GPS) aos aparelhos móveis, altera dramaticamente a relação entre os estudantes e o meio ambiente que estão estudando.

Por fim, em muitos países, a comunicação entre escolas e órgãos gestores municipais, estaduais e nacionais é lenta e não confiável, o que resulta em uma escassez de informações necessárias para detectar e enfrentar problemas relativos ao desempenho de escolas e estudantes. Para responder a esses desafios, a província argentina de Salta lançou recentemente o Projeto Gema (Gestão para a Melhoria das Aprendizagens) (UNESCO, 2013), com a cooperação do UNICEF. O programa visa a melhorar os resultados da aprendizagem, desenvolvendo capacidades de gestão baseadas em evidências, nas escolas e nos níveis administrativos. Um dos seus componentes centrais é um sistema que investiga dados escolares (por exemplo, as taxas de evasão e frequência de alunos e professores), por meio de uma série de mensagens automáticas SMS, enviadas mensalmente a diretores de escolas em áreas distantes.

É importante frisar que, grande parte do sucesso de um projeto/iniciativa sobre aprendizagem móvel se norteia em relação ao aplicativo/software ou ambiente que se está sendo utilizado, apoiando o acesso e a realização das atividades por meio de um dispositivo móvel. A forma como um ambiente de aprendizagem móvel é projetado e construído pode influenciar diretamente no acesso e utilização em relação as atividades educacionais por parte dos aprendizes, professores e tutores (ECONOMIDES, 2008).

2.3 Ambientes de Aprendizagem Móvel

O paradigma da aprendizagem móvel surge aproveitando-se da disponibilidade e comodidade dos dispositivos móveis, considerando as necessidades específicas de aprendizagem e treinamento (NYíRI, 2002; PARSONS; RYU; CRANSHAW, 2007; SHA *et al.*, 2012). Para atingir esses objetivos educacionais, a aprendizagem móvel precisa garantir princípios de colaboração que favoreçam a aprendizagem entre os seus usuários como, por exemplo, troca de experiências, construção educacional coletiva, compartilhamento de interesses, resolução de problemas e conflitos de maneira mútua, agregação e construção de grupos, entre outros aspectos.

Para facilitar a criação desta colaboração é necessária a utilização de plataformas de ensino, conhecidas como ambientes de aprendizagem virtuais. Tais ambientes apresentam diretrizes e aspectos pedagógicos que facilitam o controle de aulas, discussões, apresentações,

[3] http://ecolearn.gse.harvard.edu/ecoMOBILE/overview.php

disponibilização de materiais didáticos, ou seja, atividades educacionais de forma virtual. Alguns estudos (AL-HMOUZ; SHEN; YAN, 2009; REIS; ESCUDEIRO; ESCUDEIRO, 2012) focam na necessidade de propor e desenvolver ambientes virtuais de aprendizagem móvel que possam proporcionar os benefícios dos ambientes virtuais tradicionais, juntamente com aspectos de mobilidade, flexibilizando a colaboração e adaptação das práticas educacionais no contexto da aprendizagem móvel.

Diante da mobilidade dos dispositivos móveis, os ambientes de aprendizagem móvel também proporcionam um processo sócio-técnico educacional diferenciado, em que aprendizes, professores e tutores interagem, flexibilizando a cultura entre os indivíduos, construção de saberes, conhecimento, independentemente do tempo e espaço (LAINE *et al.*, 2010).

Muitos pesquisadores, organizações e indústrias vêm utilizando ambientes de aprendizagem móvel para as práticas educacionais e de treinamento. Apesar dos benefícios existentes e da comodidade em sua utilização, tais ambientes também apresentam algumas limitações, como por exemplo (MINOVIC *et al.*, 2008): (1) o tamanho da tela limitado em alguns dispositivos; (2) métodos de entrada limitados; (3) largura de banda de rede limitada, entre outros. Outros problemas relatados em Neves (2005) e Hashemi *et al.* (2011) são: (1) a falta de padrão entre os diversos dispositivos móveis, tanto ao uso quanto às suas interfaces; (2) inadequação dos atuais modelos de usabilidade; (3) exigências de avaliação dos sistemas móveis; (4) exigências de projeto para usuários móveis; (5) não familiaridade e descrença por parte das escolas, faculdades e organizações; (6) ausência de padrões de desenvolvimento para conteúdo educacional; (7) falta de um sistema operacional comum; (8) rápida desatualização dos dispositivos móveis; (9) curva de aprendizagem alta para alguns aprendizes e professores, principalmente com idade avançada; (10) dependência de infra estrutura com rede sem fio, wi-fi ou 3g/4g; entre outros fatores. Estes problemas, de modo geral, resultam em empecilhos para a construção e elaboração de ambientes de aprendizagem móvel com qualidade e aderentes às práticas educacionais.

Em estudos realizados por Zhao e Rosson (2009) e O'Malley (2012), foi observado que atualmente os serviços educacionais fornecidos pelos ambientes de aprendizagem móvel não são totalmente adequados às práticas educacionais, principalmente pela falta de padronização observada.

De modo geral, não se deve buscar oferecer o máximo de funcionalidades em pequenos aparelhos, mas é essencial que haja um entendimento quanto às funcionalidades que mais agregam valor, e como as informações serão disponibilizadas (O'MALLEY, 2012). Desse modo, é necessário escolher apenas as funcionalidades que se fazem úteis aos usuários da aprendizagem móvel (aprendizes, professores e tutores), sem que aumente o trabalho do usuário no dispositivo móvel em relação a um portal/ambiente convencional.

A falta de padronização também acontece devido à falta de padrões em relação a modelos e arquiteturas de software. Por exemplo, existem modelos e arquiteturas definidas para *e-learning*, porém não são incorporados aspectos ubíquos e de mobilidade. A definição de padrões e modelos

arquiteturais para ambientes de aprendizagem móvel é uma etapa crucial para a garantia de qualidade às práticas educacionais, visto que estes ambientes, além de levar em consideração aspectos técnicos, precisam abranger necessidades intrínsecas relacionadas ao dia a dia dos aprendizes, professores e tutores (ECONOMIDES, 2008), entre elas, necessidades educacionais, sócio-culturais e econômicas.

Apesar da carência relacionada a padrões arquiteturais e dificuldades no que diz respeito à utilização, os ambientes de aprendizagem móvel vêm sendo cada vez mais utilizados, proporcionando benefícios à aprendizagem. Em um estudo realizado por Goh e Kinshuk (2006), foram abordados aspectos sobre a utilização de ambientes de aprendizagem por meio de dispositivos móveis nas escolas, com foco na educação (atividades, colaboração, *feedback*). O estudo observou que tais ambientes podem oferecer benefícios significativos para os alunos, principalmente em relação à atratividade e motivação. Adicionalmente, um grande número de professores e tutores acredita que é possível haver um papel importante no uso dos dispositivos móveis na educação.

Os docentes que participaram da pesquisa Goh e Kinshuk (2006) demonstraram uma grande aceitação e empenho no uso da aprendizagem móvel nas salas de aula por meio de um ambiente específico. De modo geral, a pesquisa evidenciou que: (1) mais de 90% dos professores e tutores acreditam que os dispositivos móveis podem ter um impacto positivo na aprendizagem dos aprendizes; (2) 75% dos docentes que autorizaram que os alunos levassem os dispositivos para casa, concluíram que houve um aumento na conclusão dos trabalhos de casa; (3) 90% dos docentes pretende no futuro continuar a utilizar os dispositivos nas suas aulas; (4) 80% dos professores e tutores afirmaram que o uso de ambientes virtuais e o uso de acessórios específicos foi de vital importância na aprendizagem; e (5) em relação aos aprendizes, 70% acharam confortável o uso dos dispositivos móveis para aprendizagem. De modo geral, uma grande percentagem dos docentes afirmou que a introdução da aprendizagem móvel na sala de aula por meio de um ambiente educacional aumentou a motivação dos alunos para aprender bem como a colaboração e comunicação entre os participantes.

Em outra perspectiva, Chou, Block e Jesness (2012) relataram um estudo de caso apresentando os resultados de um projeto de quatro meses em relação à utilização de *iPads* em quatro salas de aula nas disciplinas de geografia de uma escola dos Estados Unidos. Os resultados do estudo revelaram alguns aspectos promissores em relação à utilização de um ambiente de aprendizagem móvel frente aos aprendizes e professores. Entretanto, também mostraram alguns desafios em relação a este novo contexto de aprendizagem.

O principal aspecto positivo da integração do *iPad* em relação às atividades educacionais, foi a motivação dos participantes, flexibilidade em relação ao tempo de realização de tarefas, maior inclusão digital e desinibição em relação as dúvidas e questionamentos dos aprendizes. Também se destaca a facilidade de comunicação e acompanhamento entre os professores e aprendizes fora da sala de aula, principalmente em relação a dúvidas e questionamentos de

exercícios propostos. Uma das problemáticas encontrada foi a distração dos aprendizes que, no caso, tinham acesso aos demais aplicativos do dispositivo móvel, fazendo com que o aprendiz pudesse acessar outros aplicativos não relacionados com o contexto educacional (jogos, redes sociais, entre outros). De modo geral, em relação às atividades de ensino propostas nas aulas, os professores observaram que os alunos ficaram mais motivados e interessados em saber respostas e dúvidas em relação às questões propostas.

2.3.1 Exemplos de Ambientes de Aprendizagem Móvel

Esta seção ilustra alguns exemplos de ambientes de aprendizagem móvel disponíveis para serem utilizados por empresas e instituições de ensino. A análise destes ambientes (por meio de uma pesquisa bibliográfica) é importante para a identificação de funcionalidades existentes, sobretudo relacionadas aos aspectos educacionais e de mobilidade. Tais ambientes foram escolhidos devido a sua disponibilidade (proprietária ou gratuita) em relação a organizações acadêmicas e corporativas, tendo amplo destaque e aplicabilidade prática. Os ambientes identificados e analisados são: *Blackboard Mobile*[4]; *Desire2Learn*[5]; *Mobl21*[6]; *Amadeus Mobile*[7]; *MLE Moodle*[8]; *Mobile Sakai*[9]; e *Redu Mobile* [10].

O *Blackboard Mobile* é uma aplicação que faz extensão ao *Blackboard Center LMS* (*Learning Management System*). Desenvolvido em PHP e posteriormente em Java, sua tecnologia foi herdada do WebCT que foi originalmente desenvolvido na *University of British Columbia* em 1995. O *Blackboard Mobile Center* (Figura 2) é compatível para *iOS, Android, BlackBerry, Palm webOS* e permite portabilidade com outros dispositivos móveis. Possui funcionalidades como gerenciamento de mapas, GPS, acesso as informações básicas por meio de texto (SMS), áudio, vídeo, trânsito, programação de aulas, catálogos de cursos, tópicos, diretório acadêmico, esportes, eventos, notícias, biblioteca, entre outros. O *Blackboard Mobile Software Development Kit* (SDK) está disponível tanto para clientes quanto para parceiros comerciais interessados em desenvolver e incorporar aplicações *iOS* e *Android* em seus aplicativos.

A solução *Desire2Learn Móbile* (Figura 3) foi criada em 2010, direcionada para clientes como escolas, universidades, empresas e órgãos do governo. O sistema faz uso de REST/JSON usado para serialização e transmissão de dados estruturados por meio de uma conexão de rede. É utilizado principalmente para transmitir dados entre um servidor da web e a aplicação, servindo como uma alternativa para XML. Desta forma o acesso ao LMS (*Learning Management System*) e ações para a utilização em ferramentas externas são realizados pela API (*application programming interface*). Possui compatibilidade com *Android*, IOS e dispositivos *BlackBerry*.

4 http://www.blackboard.com/platforms/mobile/overview.aspx
5 http://www.desire2learn.com/
6 https://www.mobl21.com/
7 http://amadeus.cin.ufpe.br/index.html/
8 http://mle.sourceforge.net/
9 https://confluence.sakaiproject.org/display/MOBILE/Home
10 http://developers.redu.com.br/

O *Desire2Learn Mobile SDK* permite aos desenvolvedores de aplicativos criarem módulos e funcionalidades que possam ser integrados em uma aplicação para o cliente final.

Figura 2 – Telas do ambiente *Blackboard Mobile*

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 3 – Tela inicial do ambiente *Desire2Learn*

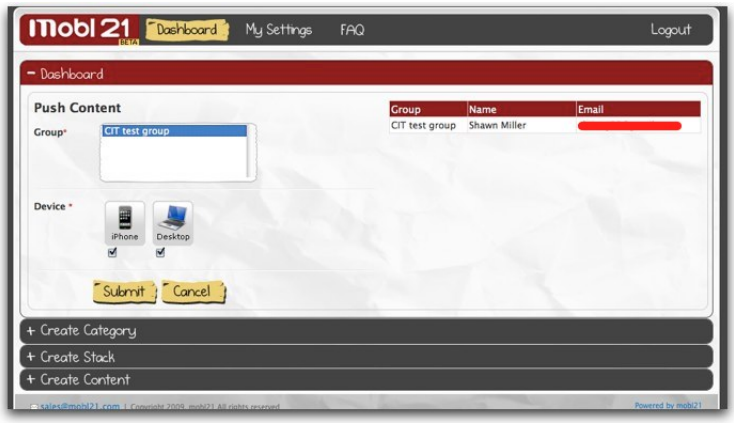
Fonte: Elaborada pelo autor.

O *Mobl21* (Figura 4) é uma aplicação criada sem um ambiente pré-estabelecido de forma que o seu desenvolvimento foi focado na intenção de desenvolver uma aplicação voltada para dispositivos móveis. Suas principais características são: separação de ambiente aprendiz/tutor (a aplicação móvel é voltada quase que exclusivamente para os aprendizes, enquanto que o LMS, acessível via web, foi desenvolvido para atender as necessidades dos tutores/professores) e compatibilidade com diversas plataformas de sistemas operacionais para dispositivos móveis.

O *Amadeus Mobile* (Figura 5) é uma extensão da plataforma de ensino a distância LMS Amadeus (Agentes Micromundos e Análise do Desenvolvimento no Uso de Instrumentos), um software livre de apoio à aprendizagem que foi criado em 2007, executado em ambiente

virtual para dispositivos móveis e concebido pelo grupo de pesquisa em tecnologia educacional CCTE, do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco. Distribuído por meio da licença GNU-GPL, ele pode ser instalado em diversos ambientes (*Unix, Linux, Windows, Mac OS*) desde que os mesmos consigam executar a linguagem Java. Em relação à base de dados podem ser utilizados MySQL, *PostgreSQL, Oracle, Access, Interbase* ou ODBC, pois o mesmo utiliza a tecnologia *Hybernate*. A plataforma foi desenvolvida colaborativamente por uma comunidade virtual que reúne programadores e desenvolvedores de software livre, administradores de sistemas, professores, projetistas instrucionais e usuários. A alteração para diversos idiomas é realizada de uma forma simples e eficiente.

Figura 4 – Tela do ambiente *Mobl21*



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 5 – Telas de acesso e navegação do ambiente *Amadeus Mobile*

Fonte: Elaborada pelo autor.

O *MLE-Moodle* (*Mobile Learning Engine - Moodle*) (Figura 6) possui código-fonte livre, totalmente gratuito e personalizável, vinculado ao ambiente virtual de aprendizagem Moodle. O conceito foi criado em 2001, por Martin Dougiamas. Idealizado desde 2007 para dispositivos moveis, foi desenvolvido colaborativamente por uma comunidade virtual, que reúne programadores e desenvolvedores de software livre, administradores de sistemas, professores, projetistas e usuários de todo o mundo. As especificações podem ser adaptadas com WML, PHP

e MySQL, conforme necessário. Todas as alterações efetuadas no Moodle são automaticamente convertidas para os dispositivos móveis. O acesso do *MLE-Moodle* pelo dispositivo móvel é realizado por meio do navegador e está disponível em inglês e alemão, sendo as seguintes funções disponíveis pelo celular: lição, *quizz*, questionário, fórum, *wikis*, banco de dados, recursos, mensagens instantâneas.

Figura 6 – Tela de acesso e navegação do ambiente *MLE-Moodle*

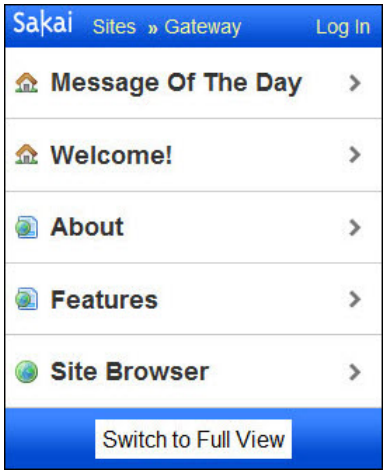
Fonte: Elaborada pelo autor.

O *Sakai* (Figura 7) é um projeto *open-source* para ambientes de colaboração e aprendizagem. A comunidade Sakai desenvolve e distribui plataformas de gerenciamento de cursos, oferecendo aos usuários um conjunto de bibliotecas e ferramentas de apoio para a aprendizagem virtual. Em 2011, as universidades de Cambridge, Indiana e Oxford iniciaram uma colaboração para propor mobilidade ao *Sakai*. Desse projeto surgiu o *Mobile Sakai* cujo os objetivos principais são: (1) estabelecimento de uma estrutura para a autenticação e conexões com ferramentas Sakai por meio de dispositivos móveis; (2) identificar as comunicar as melhores práticas para as instituições de ensino ao implantarem soluções de mobilidade a suas plataformas de ensino; (3) desenvolver e implementar mecanismos de garantia da qualidade para desenvolver e testar as funções educacionais em dispositivos móveis agregando ao projeto Sakai; e (4) trabalhar com a comunidade para identificar as boas práticas para a utilização da mobilidade na aprendizagem.

O *Redu Mobile* (Figura 8) é uma plataforma para ensino com tecnologia, que permite criar, compartilhar e discutir conteúdo das mais diversas formas, estimulando a aprendizagem, colaboração e diversão. De modo geral, é um ambiente de colaboração para professores e alunos que permite criar situações de aprendizagem por meio da Internet e de dispositivos móveis. O *Redu Mobile* é um serviço de plataforma de aprendizagem nas nuvens; uma tendência na área de tecnologia educacional. Por meio da API HTTP REST do Redu é possível construir aplicações

que acessam os dados dos usuários da plataforma. Dizer que uma API pode ser utilizada via HTTP implica dizer que não há restrições quanto à linguagem ou tecnologias utilizadas na integração de aplicativos. Por se tratar do protocolo de aplicação da Internet, qualquer linguagem moderna é capaz de enviar requisições HTTP.

Figura 7 – Tela de navegação do ambiente *Mobile Sakai*



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 8 – Tela de navegação do ambiente *Redu Mobile*

Fonte: Elaborada pelo autor.

2.4 Considerações Finais

Neste capítulo foram discutidos alguns conceitos e terminologias relacionados ao contexto da aprendizagem móvel (*mobile learning*), apresentando as vantagens e dificuldades na sua adoção e utilização. Também foram brevemente discutidos alguns ambientes de aprendizagem

móvel, demostrando as suas principais caraterísticas e funcionalidades existentes, sobretudo relacionadas aos aspectos educacionais e de mobilidade.

De modo geral, a aprendizagem móvel tem como objetivo prover acesso aos conteúdos didáticos em qualquer lugar e a qualquer momento, aumentar as possibilidades de acesso ao conteúdo, expandir os limites da sala de aula de forma ubíqua, e fornecer meios para o desenvolvimento de métodos inovadores de aprendizagem.

Para que a aprendizagem móvel possa ser adotada na prática, ambientes de aprendizagem móvel devem ser utilizados como forma de apoio, proporcionando: (1) a melhora dos recursos didáticos para a aprendizagem efetiva do aprendiz; (2) flexibilidade no acesso aos conteúdos didáticos em qualquer lugar e a qualquer momento, de acordo com a conectividade do dispositivo; (3) aumento das possibilidades de acesso ao conteúdo, incrementando e incentivando a sua utilização; (4) expansão das estratégias de ensino, por meio das novas tecnologias e aplicativos móveis; e (5) novos meios para o desenvolvimento de métodos inovadores de ensino e de treinamento, utilizando recursos tecnológicos, pedagógicos e ubíquos.

Contudo, apesar dos benefícios proporcionados por tais ambientes de aprendizagem, diferentes fatores estão envolvidos em seu desenvolvimento, os quais devem levar em consideração, além de aspectos técnicos, componentes educacionais, atributos de computação ubíqua, critérios de usabilidade móvel, entre outros. Tais aspectos podem e devem ser representados por meio de um vocabulário comum, podendo ser representados por meio de uma arquitetura de referência. As arquiteturas de referência vêm sendo investigadas e pesquisadas neste contexto, apoiando a definição arquitetural e o desenvolvimento desses ambientes.

O próximo capítulo apresenta os conceitos relacionados à arquitetura de software, evidenciando aspectos da arquitetura de referência e aspectos orientados a serviço, juntamente com processos de elaboração de arquiteturas de referência.

CAPÍTULO

3

ARQUITETURA DE SOFTWARE

3.1 Considerações Iniciais

Com o constante avanço tecnológico, é cada vez maior a complexidade do software a ser construído, sendo necessária a redução de tempo e custo de desenvolvimento e manutenção do software (OTON *et al.*, 2010). Neste contexto, arquiteturas de software vêm sendo cada vez mais utilizadas, pois são centradas na ideia da redução da complexidade por meio da abstração e separação de interesses, desempenhando um papel fundamental para gerenciar a complexidade inerente ao software a ser desenvolvido (PALANIVEL; KUPPUSWAMI, 2011).

Por definição, uma arquitetura de software envolve a descrição de elementos arquiteturais a partir dos quais os sistemas serão construídos, interações entre esses elementos, padrões que guiam suas composições e restrições sobre estes padrões (BASS; CLEMENTS; KAZMAN, 2003). As arquiteturas de software são um dos principais elementos responsáveis pela disseminação da qualidade de sistemas, contemplando boas práticas de desenvolvimento.

Com esta perspectiva, arquiteturas de referência têm-se destacado como um tipo especial de arquitetura, provendo direções para a especificação de arquiteturas concretas de sistemas de um dado domínio de aplicação. Arquiteturas de referência podem ser consideradas como um conjunto de abstrações de informações de um domínio, estruturadas de forma a auxiliar no desenvolvimento de um conjunto de sistemas (BASS; CLEMENTS; KAZMAN, 2003; NAKAGAWA *et al.*, 2011).

Apesar dos benefícios proporcionados pelas arquiteturas de software, novos estilos arquiteturais vêm surgindo, resultando em melhorias específicas nas aplicações computacionais. Um recente estilo arquitetural que vem agregando interoperabilidade e maior reúso às aplicações é a arquitetura a orientada serviços (SOA) (ANGELOV; TRIENEKENS; GREFEN, 2008; ERL, 2009; ZIMMERMANN; KOPP; PAPPE, 2009), cujo princípio fundamental é garantir que as funcionalidades implementadas possam ser disponibilizadas na forma de serviços, permitindo

que novas aplicações sejam criadas a partir da combinação de funcionalidades já existentes (ERL, 2009; ZIMMERMANN; KOPP; PAPPE, 2009). Esses serviços podem ser novos desenvolvimentos ou até serem criados a partir da exposição de funcionalidades de aplicações existentes. Uma vez criado, um serviço pode ser reutilizado ou recombinado na construção de diferentes sistemas. A cada novo sistema implementado o número de componentes disponíveis tende a aumentar.

Inicialmente na Seção 3.2 são apresentadas as terminologias e conceitos gerais em relação ao tema arquiteturas de software. Na Seção 3.3 é abordado especificamente o tema de arquiteturas de referência, discutindo seus conceitos e as principais características. Na Seção 3.4 são apresentados os conceitos e terminologias relacionados ao tema arquitetura orientada a serviço (SOA). Por fim, na Seção 3.5 são apresentadas as considerações finais deste capítulo.

3.2 Terminologia e Conceitos Gerais

Conceitualmente, uma arquitetura de software representa um artefato de projeto, havendo uma variedade de formas de observá-la e compreendê-la (GORTON, 2006). A especificação da arquitetura representa os primeiros passos para o projeto de sistemas em geral e produz entradas para a maioria dos passos subsequentes em relação ao projeto de software.

Diversas definições para o termo arquitetura de software podem ser encontradas na literatura. De acordo com Shaw e Garlan (1996), arquitetura de software consiste na descrição dos elementos a partir dos quais os sistemas serão construídos (componentes), interações entre estes elementos (conectores), padrões que guiam sua composição, e restrições sobre estes padrões.

Em outra definição têm-se que uma arquitetura de um sistema consiste da estrutura de suas partes (incluindo as partes de software e hardware envolvidas no tempo de execução, projeto e teste), da natureza e das propriedades relevantes que são externamente visíveis destas partes (módulos com interfaces, unidades de hardware, objetos), e dos relacionamentos e restrições entre elas (D'SOUZA D. F.AND WILLS, 1999).

Para Mendes (2002), arquitetura de software representa a estrutura de componentes de um programa/sistema, seus relacionamentos, princípios e diretrizes que governam seu projeto e evolução ao longo do tempo.

Tendo como base as definições apresentadas, observa-se que a concepção e elaboração de uma arquitetura devem permanecer independentes de qualquer implementação ou tecnologia, utilizando apenas especificações de componentes para representar os serviços existentes dentro da arquitetura (D'SOUZA D. F.AND WILLS, 1999; MENDES, 2002).

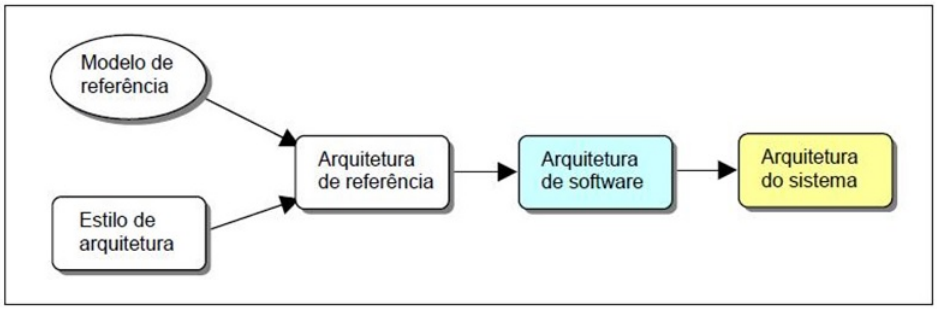
Antes de se propor uma arquitetura, é preciso levar em consideração algumas terminologias e conceitos existentes na área. A seguir, tais conceitos e definições são descritos, mostrando sua relevância dentro do contexto de arquitetura de software.

Para Bass, Clements e Kazman (2003), um modelo de referência consiste na decomposição padronizada do problema em partes conhecidas que cooperam entre si em benefício de uma solução. Muitos destes problemas são específicos a um domínio, trazendo a experiência de analistas de negócio em conjunto com desenvolvedores e projetistas. O modelo de referência de um determinado domínio surge durante o processo de análise da solução em função da necessidade de representações mais abstratas que caracterizam o domínio.

Por outro lado, os estilos de arquitetura (ou padrões de arquitetura) expressam esquemas de organização estrutural de sistemas, fornecendo um conjunto de componentes do sistema, suas responsabilidades e a forma de interação entre eles, estabelecendo um padrão de utilização (BUSCHMANN *et al.*, 1996). Resumindo, cada estilo de arquitetura aborda diferentes tipos de atributos de qualidade. Para obter a definição de uma arquitetura a partir dos estilos existentes, é importante identificar quais os atributos mais relevantes para a solução, garantindo uma maior qualidade ao sistema.

Finalmente, as arquiteturas de referência consistem em componentes de software e os relacionamentos entre eles, proporcionando a implementação de funcionalidades relativas às partes definidas no modelo de referência. Cada uma destas partes podem ser implementadas em apenas um ou vários componentes de software; ou seja, o mapeamento das funcionalidades do modelo de referência em componentes da arquitetura de referência nem sempre é um para um. Geralmente as arquiteturas de referência são aplicáveis a um domínio particular (BASS; CLEMENTS; KAZMAN, 2003). A Figura 9 sumariza as terminologias apresentadas.

Figura 9 – Relação entre modelo de referência, estilo de arquitetura e arquitetura de referência.



Fonte: Bass, Clements e Kazman (2003).

De acordo com Bass, Clements e Kazman (2003), uma arquitetura de referência consiste em um modelo de referência mapeado sobre elementos de software, que cooperativamente implementam as funcionalidades definidas no modelo de referência e no fluxo de dados entre eles. Enquanto um modelo de referência define a funcionalidade, uma arquitetura de referência é um mapeamento dessa funcionalidade em uma decomposição de sistema.

Uma arquitetura de referência é a arquitetura generalizada de diversos sistemas finais que compartilham um ou mais domínios comuns. A arquitetura de referência define a infraestrutura comum aos sistemas finais e as interfaces de componentes que irão ser incluídas no sistema final.

Analogamente, o conceito de uma arquitetura de referência é muito similar a um *framework* de aplicação (GALLAGHER, 2000).

Existem diversas maneiras de se transformar um modelo de referência em uma arquitetura de referência. Essa abordagem permite a existência de diversas arquiteturas de referência para um mesmo modelo e, além disso, alguns modelos de referência são tão genéricos que podem ser aplicados em domínios de problemas diferentes.

Em síntese, o estabelecimento de uma arquitetura de referência para sistemas computacionais pode trazer diversos benefícios, tais como: reúso, adequação, qualidade, manutenção, facilitando tanto a construção de novos sistemas como a reestruturação de sistemas já existentes. De acordo com Nakagawa (2006), ao utilizar uma arquitetura de referência fica mais fácil planejar evoluções no sistema, reaproveitando partes de códigos prontos para outros sistemas computacionais.

3.3 Arquiteturas de Referência

Conforme discutido na seção anterior, uma Arquitetura de Referência consiste em um modelo de referência mapeado sobre elementos de software, que cooperativamente implementam as funcionalidades definidas no modelo de referência e o fluxo de dados entre eles. Enquanto um modelo de referência define a funcionalidade, uma arquitetura de referência é um mapeamento dessa funcionalidade em uma decomposição de sistema (BASS; CLEMENTS; KAZMAN, 2003).

Uma arquitetura de referência é a arquitetura generalizada de diversos sistemas finais que compartilham um ou mais domínios comuns. A arquitetura de referência é então instanciada para criar uma arquitetura de software de um sistema específico. A definição de uma arquitetura de referência facilita derivar e estender novas arquiteturas de software para classes de sistemas (GARLAN; PERRY, 1995).

Arquiteturas de referência fazem parte da base de ativos reutilizáveis de uma organização. A finalidade desses artefatos é criar um ponto de partida para o desenvolvimento da arquitetura concreta. Eles podem variar de padrões de arquitetura, mecanismos de arquitetura e *frameworks* prontos a sistemas completos, com características conhecidas e de uso comprovado. Eles podem ser aplicados de forma geral ou para uma ampla classe de sistemas de domínios, ou ter um enfoque mais limitado, específico de domínio (ANGELOV; GREFEN; GREEFHORST, 2009).

O uso de arquiteturas de referência em certo domínio de aplicação possibilita ao projetista a integração e a reutilização de ideias, métodos e componentes dentro de um contexto de desenvolvimento de mesma área. Com isso, busca-se atingir níveis mais altos de qualidade, reduzindo o tempo de desenvolvimento e os riscos que possam acontecer durante o processo de criação do software.

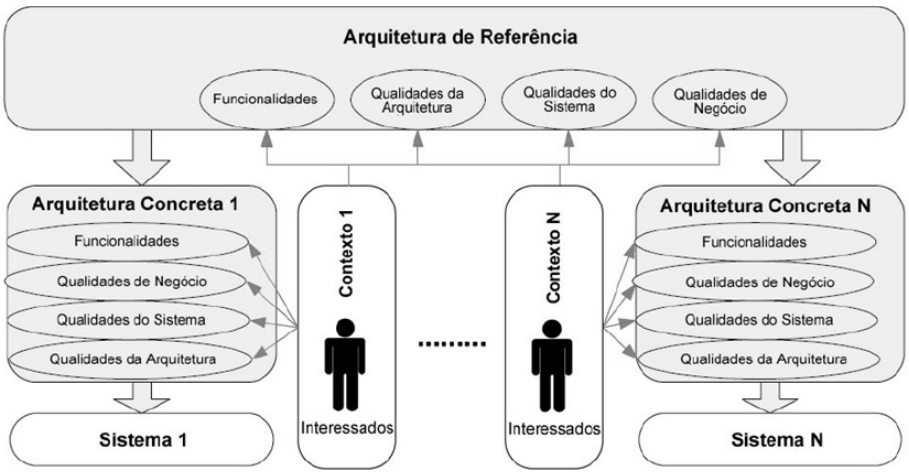
Nesse sentido, a ideia é apoiar questões importantes de projeto, tais como a organização do sistema como uma composição de componentes, as estruturas de controle globais, os protocolos de comunicação, a composição dos elementos do projeto e a designação das funcionalidades dos componentes do projeto (NAKAGAWA, 2006).

O uso de arquiteturas de referência testadas é uma maneira eficaz de lidar com os vários requisitos não-funcionais (particularmente os requisitos de qualidade), selecionando arquiteturas de referência existentes, que são conhecidas por meio de seu uso para atender a esses requisitos. As arquiteturas de referência podem existir ou ser usadas em diferentes níveis de abstração e a partir de diversos pontos de vista.

Arquiteturas de referência podem surgir da observação de determinados tipos de software. Definem e explicitam elementos comuns aplicados por vários profissionais de arquitetura no projeto de vários softwares de um determinado tipo de domínio. São representações em alto-nível das similaridades identificadas nessas diversas instâncias (CHOI; LIM; KIM, 2009). De modo geral, considerar uma arquitetura de referência ao conceber um novo sistema poupa ao arquiteto um volume considerável de análise e ponderação na identificação de componentes, seus comportamentos, papéis e relacionamentos. Uma arquitetura concreta surge da adaptação de uma referência para as necessidades e propósitos de um sistema específico.

Na área de Engenharia de Software, arquiteturas de referência para ferramentas de apoio às atividades de desenvolvimento de software também têm sido investigadas. Dessa forma, uma arquitetura de referência pode ser utilizada em diversos contextos, resultando no desenvolvimento de instâncias arquiteturais concretas distintas (Figura 10), dependentes dos interessados (*stakeholders*), facilitando o entendimento de um determinado domínio, provendo um vocabulário comum e seus relacionamentos.

Figura 10 – Relação entre arquiteturas concretas e de referência.



Fonte: Angelov, Trienekens e Grefen (2008).

As arquiteturas de referência podem variar de diversas formas, ou seja, possuir maneiras diferentes de representação, em relação ao contexto de sua produção e as metas do contexto do

negócio. Neste cenário, Angelov, Grefen e Greefhorst (2009) classificaram as arquiteturas de referência quanto: (1) ao contexto para o qual foi desenvolvida; (2) ao propósito de uso; e (3) aos insumos utilizados em sua construção. Tendo como base esta classificação, Angelov, Grefen e Greefhorst (2009) definem seis tipos básicos de arquiteturas de referência, sendo elas:

- Tipo 1 (Múltiplas Organizações, Clássica, Padronização): Essas arquiteturas são utilizadas na obtenção do consenso arquitetural entre as organizações e, em virtude disso, são projetadas por meio de descrições de componentes e suas interfaces, em altos níveis de abstração. Nesse tipo de arquitetura, o detalhamento dos componentes é desnecessário, pois cada organização deve ser livre para escolher quais detalhes são pertinentes às suas metas.

- Tipo 2 (Única Organização, Clássica, Padronização): Arquiteturas pertencentes a essa classificação têm por objetivo auxiliar na construção de uma família de sistemas de software com características semelhantes. Tais arquiteturas possuem características mais concretas, podendo especificar detalhes, tais como tecnologias, aplicações existentes e padrões, de acordo com as metas desejadas pela organização.

- Tipo 3 (Múltiplas Organizações, Clássica, Facilitação): São arquiteturas de referência utilizadas para fomentar a construção de produtos de software, por meio de uma descrição mais concreta de componentes e interfaces, provendo direções ao desenvolvimento.

- Tipo 4 (Única Organização, Clássica, Facilitação): Tais arquiteturas possuem características similares as arquiteturas do Tipo 2, porém são projetadas para facilitar o desenvolvimento e, em virtude disso, são descritas de maneira mais informal.

- Tipo 5 (Múltiplas Organizações, Preliminares, Facilitação): Arquiteturas de referência pertencentes a esse tipo são projetadas a partir do conhecimento de domínio, antes da existência de qualquer sistema concreto e, por isso, são relacionadas como preliminares. Essas arquiteturas definem componentes requeridos à sua implementação, podendo indicar algoritmos e protocolos que facilitem a interação entre os componentes.

- Tipo 6 (Única Organização, Preliminares, Facilitação): Este tipo de arquitetura requer um grande esforço, sendo sua produção restrita às organizações líderes de mercado.

Por fim, diversas arquiteturas de referência para os mais diferentes domínios de aplicação podem ser encontradas e utilizadas. Os trabalhos de (ARSANJANI *et al.*, 2007; CHOI; LIM; KIM, 2009; COSTAGLIOLA; FERRUCCI; FUCCELLA, 2006; EICKELMANN; RICHARDSON, 1996; NAKAGAWA, 2006; FIORAVANTI; NAKAGAWA; BARBOSA, 2010), são exemplos de arquiteturas de referência propostas. É importante observar que embora os trabalhos citados abordem o uso de estruturas genéricas (modelo de referência, arquitetura geral, arquitetura de componentes) no contexto de desenvolvimento de aplicações em geral, a ideia de uma "arquitetura

de referência" para ambientes de aprendizagem móvel ainda não tem sido explorada efetivamente. É nesse cenário que se insere a *Ref-mLearning*, contribuindo para o desenvolvimento e apoio da definição arquitetural, facilitando a compreensão deste domínio educacional, juntamente com a definição de um vocabulário comum.

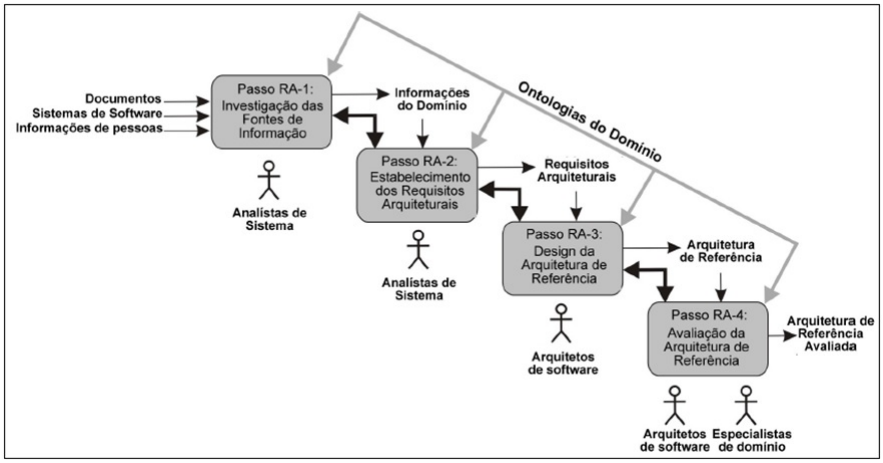
3.3.1 O Processo Prosa-RA

A sistematização do processo para o estabelecimento de arquiteturas de referência para domínios específicos constitui uma atividade importante e de grande complexidade (NAKAGAWA; SASAKI; MALDONADO, 2009). Considerando tal relevância, investigar meios pelos quais estas arquiteturas são propostas e elaboradas torna-se necessária ao presente trabalho.

Na literatura encontram-se vários trabalhos relacionados à elaboração sistemática desse tipo de arquitetura (BAYER *et al.*, 2004; NAKAGAWA, 2006; EKLUND *et al.*, 2005; MULLER, 2008). Para o estabelecimento da *Ref-mLearning* foi utilizada a abordagem definida e descrita no trabalho de Nakagawa (2006), denominada ProSA-RA. Devido a sua flexibilidade e eficiência em relação à elaboração sistemática de arquiteturas de referência para domínios distintos, este processo foi selecionado para apoiar a proposta da *Ref-mLearning*, levando em conta a suas etapas e direcionamentos.

O ProSA-RA é um processo que sistematiza o desenvolvimento de arquiteturas de referência orientadas a aspecto, visando o desenvolvimento incremental e evolutivo de ambientes de software (NAKAGAWA, 2006). O ProSA-RA é parte integrante do ProSA (*Process based on Software Architecture*) – um processo iterativo que aborda desde o estabelecimento da arquitetura de referência (ProSA-RA), passando por sua especialização (ProSA-S), até a instanciação (ProSA-I). Cada etapa do processo contém diretrizes e objetivos específicos, resumidos em quatro etapas (Figura 11):

Figura 11 – Visão Geral do ProSA-RA.



Fonte: Nakagawa (2006).

1. RA-1 (Identificação das Fontes de Informação): são identificadas e selecionadas as fontes de informação com o objetivo de levantar informações sobre o domínio para o qual será criada a arquitetura de referência. Quanto maior a quantidade de informações e mais abrangentes as fontes de informação, mais adequada para o domínio em questão será a arquitetura construída e, consequentemente, maiores as chances de sucesso na construção de sistemas de software com base na arquitetura definida. Como fontes de informação mais relevantes destacam-se: pessoas (especialistas do domínio), sistemas de software do domínio, publicações e/ou documentos e ontologias do domínio.

2. RA-2 (Estabelecimento dos Requisitos Arquiteturais): são estabelecidos e identificados os requisitos de sistema do domínio e, a partir destes, são estabelecidos os requisitos específicos da arquitetura de referência pretendida. Tais conceitos possivelmente darão origem a módulos em nível de implementação. Considerando a especificação de arquiteturas de referência, o ProSA-RA também propõe a identificação dos interesses transversais em nível arquitetural. Assim, determinam-se, entre os conceitos identificados, quais possuem característica transversal e quais não. Características transversais são interesses cuja implementação encontra-se entrelaçada e espalhadas por todos os módulos de um sistema.

3. RA-3 (Projeto da Arquitetura de Referência): proporciona a concepção da visão geral da arquitetura de referência. Inicialmente são investigados e selecionados os estilos e padrões arquiteturais que se mostram mais adequados para o domínio em questão. Entende-se por aspectos arquiteturais os elementos que afetam/comunicam com outros elementos arquiteturais, tais como pacotes e componentes ou mesmo outros aspectos arquiteturais. Observa-se que conceitos com características transversais são bons candidatos para serem aspectos arquiteturais. Contudo, uma análise criteriosa deve ser conduzida para estabelecer se o conceito será tratado em um módulo transversal e independente ou não. Um conjunto de visões arquiteturais é considerado: (1) a visão de módulos representa a estrutura do sistema em termos de módulos; (2) a visão em tempo de execução mostra o sistema em execução, possibilitando entender seu funcionamento bem como analisar as propriedades que se manifestam em tempo de execução; (3) a visão de implantação apresenta a estrutura de hardware na qual o sistema será executado; e (4) a visão conceitual descreve cada um dos conceitos pertinentes ao domínio de aplicação ao qual a arquitetura de referência está relacionada.

4. RA-4 (Avaliação da Arquitetura de Referência): tem por objetivo conduzir a avaliação da arquitetura de referência proposta. Nesta etapa podem ser utilizadas, por exemplo, inspeções baseadas em *checklists*, instanciação de arquiteturas concretas juntamente com a implementação de protótipos, visando à avaliação (teórica e prática) da arquitetura em relação a suas características, elementos, descrições, entre outros aspectos.

Por fim, ressalta-se que o ProSA-RA tem sido utilizado para guiar a construção de arquiteturas de referência de diferentes domínios, tais como para ferramentas de visualização, sistemas marítimos, jogos de computador e ambientes educacionais (GUESSI; OLIVEIRA; NAKAGAWA, 2011; FIORAVANTI; NAKAGAWA; BARBOSA, 2010; AFFONSO; NAKAGAWA, 2013; NAKAGAWA *et al.*, 2011; GONCALVES; OQUENDO; NAKAGAWA, 2015; ALLIAN; OLIVEIRA; NAKAGAWA, 2015).

3.4 Arquiteturas Orientada a Serviços (SOA)

Atualmente, as atividades de integração de sistemas consistem em fazer uma análise das necessidades do ambiente tecnológico da organização, de forma a se descobrir, desenhar e implementar a soluções mais adequadas a essas necessidades, considerando-se os requisitos de performance, reúso, disponibilidade, segurança e investimentos demandados pelos negócios (ERL, 2009).

Nesse contexto, ambientes complexos e não uniformizados caracterizam dois dos grandes problemas para a questão da integração, já que existe uma necessidade de disponibilizar informações com uma comunicação eficiente entre sistemas e ambientes computacionais.

Para amenizar esta problemática, arquiteturas orientadas a serviços (*Service Oriented Architectures* - SOA) vêm emergindo como um novo estilo arquitetural que visa prover diversas vantagens quanto à integração, reúso, produtividade e evolução das aplicações (ERL, 2009).

SOA pode ser definido como uma arquitetura de software voltada para a construção de aplicações que implementam processos de negócio ou serviços utilizando um conjunto de componentes "caixa-preta", fracamente acoplados, e orquestrados para prover um nível de serviço bem definido (HURWITZ; BLOOR R.AND BAROUDI; KAUFMAN, 2007).

Em outra definição, pode-se conceituar SOA como a evolução da computação distribuída. O intuito dessa arquitetura é fazer com que toda unidade lógica se transforme em serviços, sendo que esses serviços devem ser independentes de quaisquer outros, ou seja, não devem depender de estado ou de processos de outros serviços (ESTEFAN *et al.*, 2008).

SOA, conforme destacado por Estefan *et al.* (2008), também pode ser considerado um paradigma de competências distribuídas que estão sob o controle de diferentes domínios proprietários. Ou seja, as pessoas e organizações criam competências para resolver problemas específicos conforme suas necessidades. Estas são modeladas por meio de conjunto de componentes que organizam a arquitetura e podem ser invocados por meio da descrição de suas interfaces, que podem ser publicadas e descobertas (BOOTH *et al.*, 2004).

SOA é um conceito arquitetural ou, em outras palavras, é uma forma de pensar e projetar integração entre os serviços de negócios, independentemente da tecnologia utilizada. Essa arquitetura permite que o negócio tome decisões apoiadas pela tecnologia ao invés de ficar

limitados pela tecnologia utilizada.

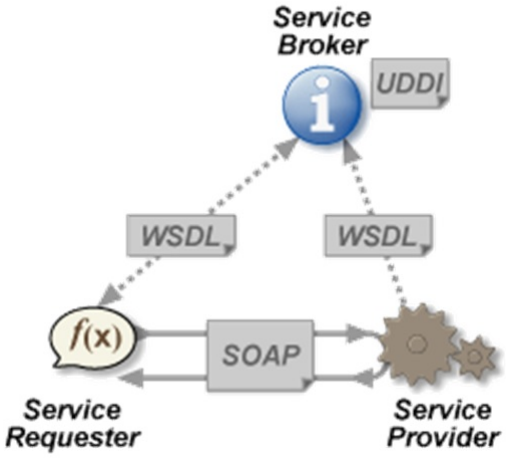
Na arquitetura SOA, as aplicações de negócios são divididas em funções e processos de negócios individuais, compartilhados e reutilizáveis. Estes, chamados de serviços (*Web Services*), são a composição básica da arquitetura SOA e podem fazer parte da composição de outros serviços pela integração/orquestração destes, independentemente das aplicações e plataformas computacionais para a execução (PIAZZA, 2007).

Em outras palavras, pode-se considerar *Web Services* como uma solução utilizada na integração de sistemas e na comunicação entre aplicações diferentes. Com esta tecnologia é possível que novas aplicações possam interagir com aquelas que já existem e que sistemas desenvolvidos em plataformas diferentes sejam compatíveis. Um exemplo seriam os algoritmos para validação de números ou de *status*, como os utilizados na validação do número do CPF e na averiguação da situação de crédito de uma pessoa. Um serviço também pode ser um algoritmo mais abrangente, em termos de funcionalidades, sendo denominado de "serviço centrado em processo".

Os *Web Services* são componentes que permitem às aplicações enviarem e receberem dados em formato XML[1]. Cada aplicação pode ter a sua própria "linguagem", que é traduzida para uma linguagem universal, o formato *XML*.

Segundo Booth *et al.* (2004), a arquitetura SOA é composta por três componentes básicos (Figura 12): o provedor (*Service Provider*), o registro (*Service Broker*) e o consumidor (*Service Requester*).

Figura 12 – Componentes básicos da Arquitetura SOA.



Fonte: Booth *et al.* (2004).

O provedor de serviços é quem provê as aplicações de software e processos de negócio na forma de serviços; o consumidor de serviços (usuário, aplicação ou outro serviço) é quem

[1] www.w3schools.com/xml/

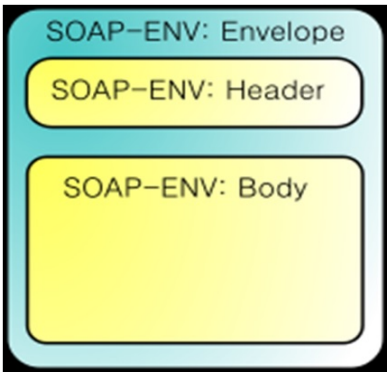
localiza e invoca os serviços conforme sua necessidade; e o diretório de serviços é quem fornece uma forma de localização dos serviços por meio de suas descrições e interfaces.

As chamadas às operações, incluindo os parâmetros de entrada/saída, são codificadas no protocolo SOAP (*Simple Object Access Protocol*), baseado em *XML*. Os serviços (operações, mensagens, parâmetros, etc.) são descritos usando a linguagem WSDL (*Web Services Description Language*). O processo de publicação/pesquisa/descoberta de *Web Services* utiliza o protocolo UDDI (*Universal Description, Discovery and Integration*) (BOOTH *et al.*, 2004).

O SOAP (*Simple Object Access Protocol*) é um protocolo de comunicação entre *Web Services* que utiliza *XML Schemas*[2] e *Namespaces*[3] para o seu funcionamento. O SOAP é independente do protocolo de transporte, sendo mais comumente utilizado o HTTP; pode-se, também, utilizar protocolos como SMTP, FTP, entre outros (HURWITZ; BLOOR R.AND BAROUDI; KAUFMAN, 2007). A Figura 13 mostra a estrutura básica de uma mensagem SOAP, sendo descrita a seguir.

- *SOAP Envelope*: Define o conteúdo da mensagem e os vários *namespaces* que são usados pelo resto da mensagem.
- *Header Element*: Contém informação a respeito de autenticação, transação e contabilização, sendo opcional a sua utilização.
- *Body Element*: Contém informação a respeito de métodos e parâmetros a serem chamados ou respostas enviadas.

Figura 13 – Estrutura de uma mensagem SOAP.



Fonte: Hurwitz, Bloor R.and Baroudi e Kaufman (2007).

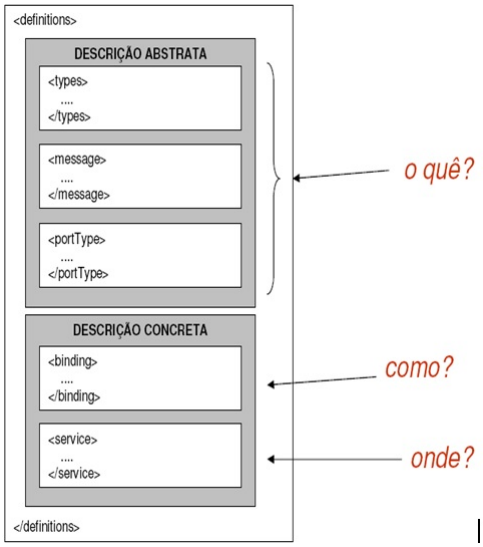
O WSDL representa a interface do serviços. Um documento WSDL descreve a assinatura das operações (métodos) fornecidas por um *Web Service*, bem como sua localização, protocolo utilizado e outras informações. As mensagens SOAP são construídas a partir da descrição dos

[2] www.w3schools.com/schema/
[3] www.w3schools.com/xml/xml_namespaces.asp

serviços em WSDL. Uma descrição em WSDL é um documento XML, podendo ser obtida de forma estática ou dinâmica pelos clientes (ERL, 2009). A Figura 14 exibe a estrutura padrão de um documento WSDL, onde:

- *definitions*: é o nó raiz do documento. Todas as informações sobre o serviço devem estar contidas nesse nó;
- *types*: contém os tipos de dados utilizados pelo serviço;
- *message*: dentro desta *tag* devem estar os elementos de uma operação (a operação que o serviço for executar);
- *portType*: é considerado o elemento mais importante do WSDL pois é nele que estão as operações que devem ser executadas pelo serviço, e as mensagens envolvidas;
- *binding*: este elemento contém as informações sobre o formato da mensagem e detalhes do protocolo utilizado para cada operação.

Figura 14 – Estrutura de um documento WSDL.



Fonte: Erl (2009).

Por fim, o UDDI tem por objetivo publicar e recuperar os *Web Services*. UDDI não é restrito a descobrir serviços baseados em SOAP; ao contrário, pode ser usado, também, para descrever qualquer serviço, desde uma única página Web ou endereços de email, até serviços CORBA e Java RMI[4]. Pode ajudar tornando possível que as organizações descubram rapidamente os milhões de serviços atualmente *online*, definindo como conduzir o consumo de um serviço, uma vez descoberto (ABINADER; LINS, 2006). Possibilita, ainda, alcançar novos clientes, expandindo serviços e incrementando acesso de novos clientes.

[4] http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/tech/index-jsp-136424.html

Diante da utilização destas tecnologias, a arquitetura orientada a serviço proporciona benefícios em relação à (ERL, 2009): (1) interoperabilidade: trocando informações entre sistemas distintos, de forma independente inclusive de linguagens de programação; (2) baixo acoplamento: garantindo independência entre os componentes dos sistemas desenvolvidos como serviços; (3) menor custo de manutenção: se comparados a sistemas monolíticos; (4) alto reúso: pois com uma interface padrão é possível que vários sistemas e aplicações se utilizem do mesmo serviço; e (5) alta escalabilidade: uma vez que SOA facilita o gerenciamento da expansão de sistemas em larga escala por meio do conceito de serviços trabalhando em interoperabilidade.

Mesmo possuindo diversos benefícios em relação ao desenvolvimento de sistemas computacionais, SOA possui alguns desafios vinculados aos aspectos de (ESTEFAN *et al.*, 2008; BOOTH *et al.*, 2004): (1) segurança: o foco na interoperabilidade e a troca de informações de forma distribuída tornam a segurança uma questão mais crítica. Neste caso é necessário incluir soluções mais abrangentes, podendo ser até considerada a implementação da segurança também como um serviço; (2) garantia de disponibilidade de serviço; (3) performance: uma aplicação consumindo muitos serviços distribuídos em relação ao acesso a um sistema monolítico; (4) testabilidade de serviços: quando estes são consumidores de outros serviços externos; e (5) implantação: requer mudanças profundas na cultura e nos processos de desenvolvimento das organizações; incluindo a mudança da visão que toda a organização tem de TI.

Diante dos conceitos apresentados e das vantagens da arquitetura SOA, sua utilização para elaboração de arquiteturas de referência vem sendo considerada uma abordagem relevante (ABINADER; LINS, 2006). Uma arquitetura de referência utilizando o estilo SOA proporciona redução no tempo de desenvolvimento, favorecimento à interoperabilidade de sistemas, desenvolvimento com equipes menores, movimentação mais ágil de recursos entre projetos, redução nos custos de manutenção, padronização de design, aumento da qualidade, viabilização de vantagem competitiva, soluções mais baratas, soluções e processos mais organizados, dentre outros.

3.4.1 Composição de Serviços

Serviços podem representar tanto funcionalidades construídas especificamente para novas aplicações quanto abstrações de componentes de software existentes, provenientes de aplicações legadas. Tais serviços podem ser oferecidos como funcionalidades simples ou compostas (JOSUTTIS, 2007). Os serviços simples proveem funcionalidades de negócio básicas, que não fazem sentido quando divididas em múltiplos serviços.

Segundo Josuttis (2007), há dois tipos de serviços básicos: serviços envolvendo dados e serviços de informações lógica. Os serviços envolvendo dados geralmente realizam leitura ou escrita de informações, como por exemplo, a criação de um cliente ou adição de um endereço. Serviços envolvendo lógica representam regras de negócio fundamentais e, usualmente, recebem uma entrada e retornam o resultado correspondente. Por exemplo, um serviços que recebe o valor de um ano e retorna informando se o ano é bissexto ou não.

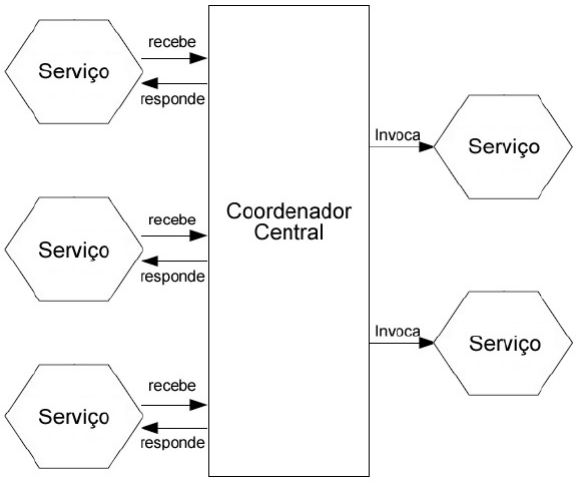
Um serviço composto constitui um processo que agrega informações sobre diversos serviços, provendo funcionalidades mais complexas, construídas a partir de funcionalidades oferecidas por serviços mais simples (KAZHAMIAKIN; PISTORE; SANTUARI, 2006). Os serviços compostos agregam valos às aplicações por meio da interação e combinação de serviços existentes. Segundo Kazhamiakin, Pistore e Santuari (2006), a composição de serviços constitui uma das mais promissoras características relacionadas à SOA. Estes serviços viabilizam o reaproveitamento de componentes, acelerando o desenvolvimento de aplicações.

Porém, neste contexto, combinar serviços para criar aplicações requer a definição de uma sequência de composição, denominada processo de negócio. Para a construção de aplicações de alto nível, por meio de serviços pertencentes a diferentes empresas, padrões de interação (orquestração e coreografia) que modelem os processos de negócio são necessários (PELTZ, 2003).

A orquestração de serviços estabelece que a coordenação das interações entre os serviços participantes de uma composição deve ser realizada por meio de um coordenador central. Para isso, a orquestração de serviços faz uso de um processo de negócio executável que interage com os serviços, por meio da transmissão de mensagens (PELTZ, 2003).

Esse processo inclui lógica de negócio e ordens de execução de tarefas, podendo interligar aplicações e organizações na definição de modelos de processo transacionais e duradouros. Na orquestração, o processo é sempre controlado a partir do ponto de vista de uma das partes do negócio (ERL, 2005). Na Figura 15 é apresentada uma representação genérica de orquestração, na qual serviços clientes solicitam funcionalidades a um processo de negócio. O Coordenador Central fica responsável por invocar funcionalidades de outros serviços existentes, proporcionando assim, uma orquestração e ordem na execução dos serviços.

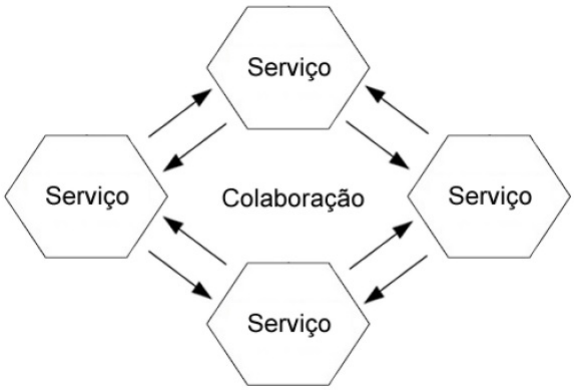
Figura 15 – Estrutura genérica de uma orquestração.



Fonte: Peltz (2003).

A coreografia de serviços é uma técnica que permite que partes envolvidas em um processo descrevam seus próprios aspectos de interação, caracterizando uma interação mais colaborativa (PAPAZOGLOU *et al.*, 2008). A coreografia oferece uma meio pelo qual regras de participação e colaboração podem ser claramente definidas de maneira conjunta. A coreografia define uma sequência de mensagens nas quais podem estar envolvidos múltiplos consumidores, provedores e parceiros, interagindo individualmente e de maneira descentralizada (PAPAZOGLOU *et al.*, 2008). Na Figura 16 é apresentada uma estrutura genérica de comunicação por meio de coreografia, na qual serviços colaboram sem a presença de um coordenador central.

Figura 16 – Estrutura genérica de uma coreografia.



Fonte: Peltz (2003).

3.5 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentados tópicos relacionados ao tema Arquitetura de Software. Foram discutidos aspectos ligados com conceitos básicos, aspectos particulares das arquiteturas de referência, métodos de elaboração, além do estilo arquitetural orientado a serviço.

É importante salientar que não foram encontradas na literatura arquiteturas de referência específicas para apoiar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel tendo como base o estilo orientado a serviço. Neste contexto, para facilitar a proposta e estabelecimento da *Ref-mLearning*, devido à aprendizagem móvel ser ainda um paradigma emergente, é notável a ausência de definições de características e requisitos específicos para a construção de ambientes de aprendizagem móvel.

No próximo capítulo é apresentada a proposta de um catálogo de características e requisitos específicos para ambientes de aprendizagem móvel, apoiando diretamente a identificação de requisitos arquiteturais, facilitando a elaboração de uma arquitetura de referência para o domínio da aprendizagem móvel.

CAPÍTULO

4

CATÁLOGO DE REQUISITOS PARA AMBIENTES EDUCACIONAIS MÓVEIS

4.1 Considerações Iniciais

A definição de características e requisitos específicos para ambientes de aprendizagem móvel é uma das etapas cruciais para o sucesso de desenvolvimento e utilização desses sistemas (ECONOMIDES, 2008; PARSONS; RYU; CRANSHAW, 2006), De fato, observa-se que não há um conjunto de requisitos padronizado para ambientes de aprendizagem móvel capaz de estabelecer um vocabulário comum para esta modalidade de ensino.

Definir características e requisitos específicos para ambientes de aprendizagem móvel é uma tarefa complexa, pois além de aspectos técnicos, tais ambientes apresentam necessidades intrínsecas relacionadas ao dia a dia dos aprendizes, professores e tutores como, por exemplo, necessidades educacionais, sócio-culturais e econômicas (POCATILU; BOJA, 2009). Além disso, aspectos ubíquos e de mobilidade também precisam ser considerados.

Com o intuito de investigar e sintetizar aspectos relacionados às características e requisitos para ambientes de aprendizagem móvel, uma revisão sistemática da literatura foi planejada e executada. Esta revisão teve por objetivo definir um conjunto de conceitos direcionados para a aprendizagem móvel, possibilitando e facilitando o estabelecimento de uma arquitetura de referência neste domínio.

Na Seção 4.2 é apresentado o planejamento e execução da revisão sistemática. Na Seção 4.3 é discutida a proposta do catálogo, definindo uma hierárquica com critérios, características e requisitos relacionados ao domínio da aprendizagem móvel. Na Seção 4.4 é apresentada a priorização e relevância do catálogo frente a especialistas da área, garantindo maior validação na utilização do catálogo. Na Seção 4.5 é apresentada a descrição dos critérios e características definidas no catálogo. Por fim, na Seção 4.6 são apresentadas as considerações finais do capítulo.

4.2 Revisão Sistemática: Planejamento e Execução

Revisão Sistemática é uma metodologia utilizada para se realizar revisões bibliográficas de forma organizada, permitindo a sua condução de forma sistemática por meio de etapas bem definidas, proporcionando maior embasamento e confiabilidade teórica (KITCHENHAM, 2004).

Nesta seção são detalhadas as etapas de planejamento e condução de uma revisão sistemática no contexto de ambientes de aprendizagem móvel; os resultados obtidos a partir de sua realização são sintetizados nas próximas seções. Dentre os processos existentes para a condução de uma revisão sistemática, são utilizados neste trabalho as abordagens de Kitchenham (2004) e Biolchini *et al.* (2007), devido a sua flexibilidade e ampla utilização acadêmica.

Na fase inicial de planejamento, o protocolo (diretrizes) da revisão é definido, ou seja, são propostas e levantadas questões ligadas à pesquisa. Também é feita a seleção das fontes de informações, e por fim, a seleção dos estudos.

Os objetivos nos quais esta revisão foi embasada são:

- Identificar as principais características presentes em ambientes de aprendizagem móvel;
- Verificar as tendências e padrões arquiteturais para o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel;
- Identificar as principais funcionalidades (requisitos funcionais e não-funcionais) de um ambiente de aprendizagem móvel.

Alguns objetivos secundários, diretamente relacionados aos objetivos desta revisão, também foram definidos:

- Analisar ambientes de aprendizagem móvel;
- Analisar características e requisitos de qualidade específicos para estes ambientes;
- Verificar as principais dificuldades e limitações associadas ao desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel.

De acordo com Biolchini *et al.* (2007), no contexto do processo de uma Revisão Sistemática, a construção das questões de pesquisa é de extrema importância para estabelecer o foco de interesse do trabalho, pois as respostas em relação às questões ajudam a obter uma conclusão e análise específica sobre o problema em questão. As questões para a revisão foram levantadas da seguinte maneira:

1. Questão 1: Quais as principais características presentes em ambientes de aprendizagem móvel?

2. Questão 2: Quais os principais requisitos (funcionais/não-funcionais) necessários para a construção de ambientes de aprendizagem móvel?

3. Questão 3: Existem técnicas e padrões arquiteturais que facilitam o desenvolvimento destes ambientes?

4. Questão 4: Quais são as principais dificuldades e tendências encontradas em relação ao desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel?

Além disso, de acordo com Biolchini *et al.* (2007), para que uma questão de pesquisa possa ser bem formulada, esta deve ser composta por quatro itens, identificados como PICO (*Population, Intervation, Comparison, Outcome*). Assim, a partir das questões construídas, as seguintes especificidades foram consideradas:

- *População*: Pesquisas relacionadas à construção e desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel;

- *Intervenção*: Aprendizagem móvel, características e requisitos de desenvolvimento;

- *Comparação*: Avaliar e analisar diversas características e requisitos presentes em ambientes móveis vinculados ao ensino e aprendizagem;

- *Resultado*: Identificação de características necessárias para a construção de um ambiente de aprendizagem móvel, que seja eficiente ao ensino e aprendizagem, facilitando a sua utilização por parte de tutores, professores e aprendizes.

Após a definição das questões de pesquisa, foi definida a estratégia de busca juntamente com a seleção dos estudos primários. Alguns critérios foram definidos em relação às fontes de busca, proporcionando a coleta de informações relevantes ao tema da pesquisa. As fontes de busca foram escolhidas levando em consideração o impacto e a abrangência na área de computação. A partir dos critérios analisados, as fontes de pesquisa escolhidas para a realização da revisão sistemática foram: *IEEE Xplore, ACM Digital Lybrary, Springer Link,Scirus, Scopus e ISI Web Knowledge*

Para a realização da pesquisa nas bases de dados também é necessária a definição de palavras-chaves. As palavras-chaves envolvidas na condução da revisão sistemática foram *Aprendizagem Móvel, Ambientes de Ensino, Requisitos e Características para Aprendizagem Móvel, Ambientes de Aprendizagem Móvel*, tendo como sinônimos as seguintes palavras e frases:

- Aprendizagem móvel: *mobile learning, m-learning*;

- Ambientes de ensino: *learning environments*;

- Requisitos e características para aprendizagem móvel: *requirements and characteristics in mobile learning*;
- Ambientes de aprendizagem móvel: *mobile learning environments*.

Antes da condução da revisão sistemática também é relevante e necessária a definição de critérios de inclusão (CI) e exclusão (CE). Os critérios de inclusão definidos foram:

- CI-1: Estudos primários que contemplam aplicações e análises de ambientes de aprendizagem móvel;
- CI-2: Estudos primários em relação a características e arquiteturas específicas para ambientes de aprendizagem móvel;
- CI-3: Estudos primários que estejam ligados a questões e dificuldades em relação ao desenvolvimento destes ambientes.

Como critérios de exclusão foram definidos:

- CE-1: Estudos primários que evidenciam características e requisitos de ambientes de aprendizagem móvel sem embasamento teórico ou prático;
- CE-2: Estudos primários que analisam somente requisitos em relação a ambientes de *e-learning* e outras modalidades diferentes de *m-learning*;
- CE-3: Estudos primários que estejam em idiomas diferentes do inglês e português, dificultando a coleta e a identificação de informações;
- CE-4: Estudos primários que não estejam disponíveis para *download* na base de dados.

Antes da definição da *string* de busca, testes foram efetuados nas próprias bases de dados, utilizando alguns sinônimos definidos nas palavras-chaves, verificando a forma e a quantidade de resultados encontrados.

Tendo como base os testes efetuados juntamente com as palavras-chaves definidas na seção anterior, a *string* genérica utilizada nas fontes de pesquisa foi definida da seguinte maneira:

mobile learning AND ("Requirements" OR "Characteristics" OR "Learning Environments")

A partir da *string* genérica foram construídas *strings* específicas para cada máquina de busca. As buscas foram realizadas a partir das palavras-chaves (sinônimos), sendo inseridas no título e no *abstract* dos trabalhos em relação às bases de dados definidas na seção anterior. Verificou-se que algumas bases de dados não disponibilizam opções de busca em relação ao

título e *abstract*. A partir dessa limitação, optou-se por realizar uma pesquisa mais coerente utilizando funções de busca por meio de *keywords* e *topic*.

A partir das buscas realizadas, 438 documentos foram retornados. Após a análise e busca na web, foram selecionados 198 trabalhos, os quais estavam integralmente disponíveis (Tabela 2).

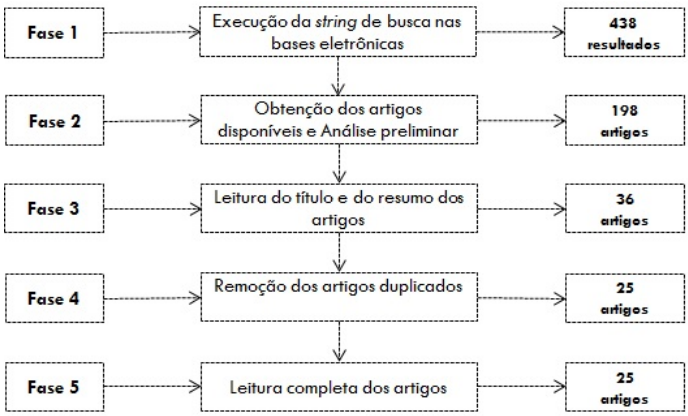
Tabela 2 – Resultado Parcial da Revisão Sistemática

Base de Dados	Resultado
IEEE Xplore	45
ACM Digital Lybrary	22
Springer Link	27
Scopus	55
Scirus	6
ISI web knowledge	43
Resultado Final	**198**

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 17 mostra as etapas da aplicação da revisão sistemática. Tendo inicialmente 438 documentos, após a leitura dos resumos dos 198 estudos primários e a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, o número foi reduzido para 36 trabalhos. Excluindo-se os trabalhos repetidos entre as bases, 25 artigos foram selecionados ao final do processo de seleção. A relação das bases e artigos selecionados é apresentada na Tabela 3.

Figura 17 – Etapas da Revisão Sistemática



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os 25 estudos foram lidos e analisados em conformidade com os objetivos e as questões definidas inicialmente. Para cada trabalho analisado os autores identificaram características e requisitos relevantes aos ambientes de aprendizagem móvel, os quais são descritos e detalhados nas próximas seções.

Tabela 3 – Resultado Final da Revisão Sistemática

ID	Referência	Fonte	Título do Trabalho
1	Reis et al., 2012	*IEEE Explorer*	*Educational Resources for Mobile Wireless Devices: A Case Study*
2	Parsons et al., 2006	*IEEE Explorer*	*A Study of Design Requirements for Mobile Learning Environments*
3	Pan et al., 2010	*IEEE Explorer*	*Learning can happen Anytime and Anywhere: the Application of M-learning in Medical Education*
4	Park, 2008	*IEEE Explorer*	*Study of M-learning System for Middle School*
5	Laine et al., 2010	*IEEE Explorer*	*Critical Factors for Technology Integration in Game-Based Pervasive Learning Spaces*
6	Ayala and Castillo, 2008	*IEEE Explorer*	*Towards Computational Models for Mobile Learning Objects*
7	Martin, 2010	*IEEE Explorer*	*M2Learn: Towards a homogeneous vision of advanced mobile learning development*
8	Zervas, 2011	*IEEE Explorer*	*Tools for Context-Aware Learning Design and Mobile Delivery*
9	Zhuang and Du Yan, 2009	*IEEE Explorer*	*Mobile Learning Applied Research Based on 3G Technology*
10	Economides, 2008	*Scirus*	*Requirements of Mobile Learning Applications*
11	Parsons et al., 2007	*Scirus*	*A Design Requirements Framework for Mobile Learning Environments*
12	Sharp et al., 2003	*Scirus*	*Establishing user requirements for a mobile learning environment*
13	Pocatilu and Boja, 2009	*Scirus*	*Quality Characteristics and metrics related to m-learning process*
14	Ozdamli and Cavus, 2009	*Scirus*	*Basic elements and characteristics of mobile learning*
15	Al-Hmouz et al., 2009	*Scopus*	*A Machine Learning Based Framework for Adaptive Mobile Learning*
16	Zare, 2011	*Scopus*	*Personalization in Mobile Learning for People with Special Needs*
17	Glavinic et al., 2009	*Scopus*	*On Efficiency of Adaptation Algorithms for Mobile Interfaces Navigation*
18	Hsu and Ho, 2012	*Scopus*	*The design and implementation of a competency-based intelligent mobile learning system*
19	Debevc et al., 2007	*Scopus*	*How Can HCI Factors Improve Accessibility of m-Learning for Persons with Special Needs?*
20	Cheng et al., 2007	*Scopus*	*PDA Plant Search System Based on the Characteristics of Leaves Using Fuzzy Function*
21	Ghim et al., 2004	*ISI web knowledge*	*A Context-Adaptive Model for Mobile Learning Applications*
22	Outtagarts, 2009	*ISI web knowledge*	*Object Oriented vs. Agent-Based Oriented Ubiquitous Intelligent Mobile Managed e-Learning Environment*
23	Schepman et al., 2012	*ACM Digital Lybrary*	*An observational study of undergraduate students' adoption of (mobile) note-taking software*
24	Yen and Lee, 2011	*ACM Digital Lybrary*	*Exploring problem solving patterns and their impact on learning achievement in a blended learning environment*
25	Nestel et al., 2010	*Springer Link*	*Evaluation of mobile learning: Students' experiences in a new rural-based medical school*

Fonte: Elaborada pelo autor.

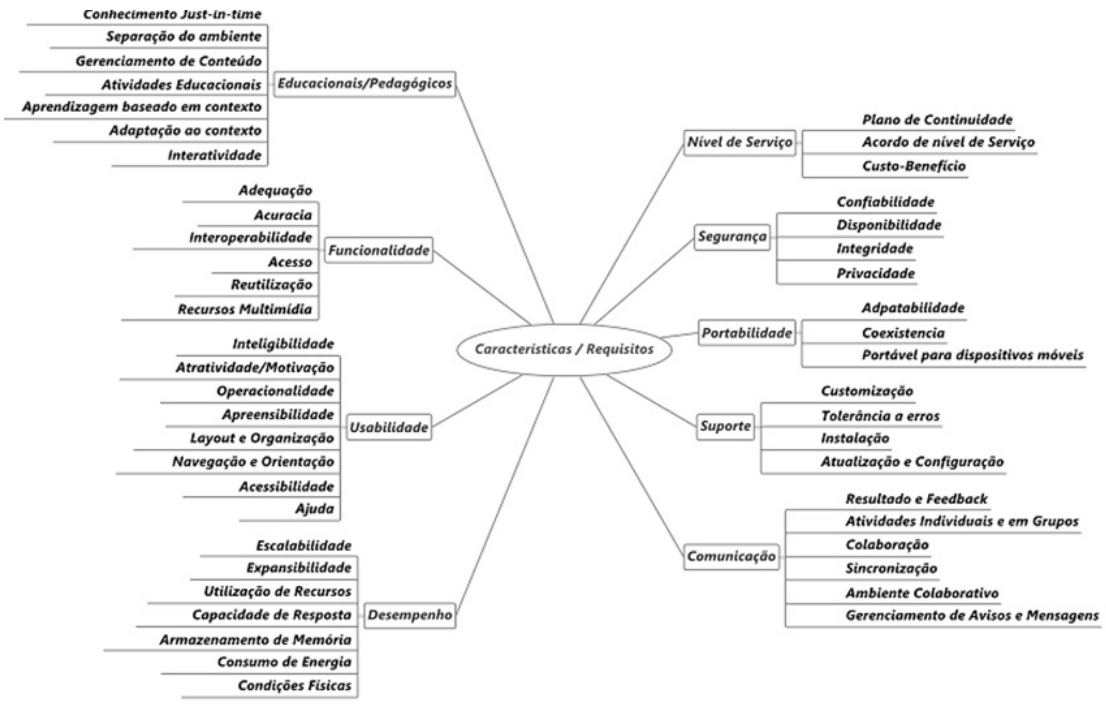
4.3 Proposta do catálogo de requisitos

A definição de requisitos em relação a um domínio específico de software ajuda não somente na modelagem, padronização e manutenção, mas também na garantia da qualidade e na eficiência do sistema. Além disso, na aprendizagem móvel é necessário estabelecer critérios específicos, permitindo que os atributos da computação ubíqua, por exemplo, possam atender corretamente aos requisitos educacionais (YEN; LEE, 2011).

Diante deste cenário, a padronização de características de desenvolvimento no domínio educacional consiste em uma tarefa complexa e propícia a erros, levando em consideração: (1) a viabilização tecnológica da interação e comunicação em dispositivos móveis; (2) o suporte tecnológico em relação às avaliações e *feedbacks*; (3) a apresentação de tarefas e conteúdos pedagógicos para os aprendizes; e (4) a reusabilidade dos conteúdos em diferentes disciplinas e dispositivos móveis.

As características identificadas na pesquisa foram relacionadas com requisitos apropriados, identificados durante a análise da revisão sistemática. Ao final de todo o processo, o mapa mental contendo as características e os requisitos relevantes aos ambientes de aprendizagem móvel foi elaborado (Figura 18.).

Figura 18 – Mental: Características e Requisitos para Aprendizagem Móvel



Fonte: Elaborada pelo autor.

Definidas as características e requisitos específicos aos ambientes de aprendizagem móvel, para que o catálogo possa ser utilizado na prática, ajudando a elaboração e definição da *Ref-mLearning*, é relevante que o catálogo esteja organizado de forma hierárquica e que seus requisitos possam ser priorizados por meio da ajuda de especialistas. A próxima seção descreve a hierarquia do catálogo, juntamente com a sua priorização.

4.4 Priorização e Relevância

Para facilitar o entendimento do catálogo de requisitos, melhorando sua estrutura e facilitando sua manutenção, foi definida e utilizada uma estrutura hierárquica semelhante à

especificação de avaliação de produto de software da ISO9126 (1991), que se baseia em critérios, requisitos (diretrizes) e descrição.

A estrutura hierárquica definida neste trabalho assemelha-se à estrutura proposta no trabalho de Hoffmann *et al.* (2004), de modo a facilitar a verificação de requisitos específicos para a construção de um ambiente de aprendizagem móvel. Para o atual trabalho foram utilizados três níveis de hierarquia, tendo cada um, uma finalidade específica.

No primeiro nível da hierarquia foram definidos critérios específicos para um ambiente de aprendizagem móvel. Estes critérios estão relacionados diretamente com as necessidades dos tutores, professores e aprendizes, sendo eles (ECONOMIDES, 2008): (1) Técnicas; (2) Educacionais; (3) Econômicas; e (4) Sócio-Culturais.

O segundo nível é formado por requisitos de desenvolvimento. Os requisitos representam diretrizes específicas em relação a cada critério definido no primeiro nível. Os requisitos do segundo nível da hierarquia devem ser priorizados, pois a partir deles são implementadas as funcionalidades específicas para cada critério. De modo geral, este nível baseia-se no fato de que os requisitos levantados representam diretrizes relevantes para o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel, ou seja, definindo características e funcionalidades importantes para o desenvolvimento desses sistemas.

O terceiro nível corresponde à descrição dos critérios (primeiro nível) relacionados com os requisitos (segundo nível), facilitando seu entendimento e implementação. A descrição dos requisitos, relacionando-os ao domínio da aprendizagem móvel, é apresentada e detalhada na próxima seção.

Para facilitar a visualização da relevância dos requisitos, prioridades foram definidas ao longo da pesquisa com a ajuda de especialistas da área, os quais participaram de entrevistas online por meio de *checklists*. A pesquisa foi enviada por meio de contatos de fóruns, blogs e listas de discussão.

No total, 23 especialistas responderam e deram o *feedback* sobre a pesquisa, juntamente com o preenchimento do formulário. Os especialistas participantes do *checklist* fazem parte de projetos de pesquisa e associações relacionadas a boas práticas e projetos de aprendizagem móvel (*moleap*[1], *maseltov*[2], *motill*[3] e *opencetl*[4]). O formulário utilizado nas pesquisas de complementação e priorização dos requisitos de qualidade pode ser visualizado no Apêndice A. A priorização foi simbolizada pelos símbolos: *(+)* Pouco Relevante; *(++)* Relevante; e *(+++)* Muito Relevante. A ideia é expressar a importância e o impacto que esses requisitos têm sobre os ambientes de aprendizagem móvel.

[1] http://www.moleap.net/
[2] http://www.maseltov.eu/
[3] http://www.motill.eu/
[4] http://www.open.ac.uk/opencetl/

4.5 Descrição dos Critérios e Requisitos

Após a priorização e complementação do catálogo, conduzidas com a ajuda de especialistas, os autores realizaram o detalhamento das características, juntamente com os trabalhos da Revisão Sistemática que as fundamentaram, incorporando uma definição e detalhamento específico ao domínio da aprendizagem móvel.

4.5.1 Critérios Técnicos

Os aspectos tecnológicos representam premissas e restrições quanto a padrões de funcionalidades, segurança e desempenho. Os critérios funcionais estão ligados diretamente com as atividades educacionais do ambiente (frente aos aprendizes, professores e tutores), os critérios de segurança permitem maior confiabilidade no tráfego e utilização de dados confidenciais (alunos, instituições, cursos, entre outros), e os critérios de desempenho possuem um contexto específico para dispositivos móveis. Ressalta-se que estes critérios não estão restritos somente a ambientes de aprendizagem móvel, sendo aplicáveis a outros tipos de ambientes de software.

Funcionalidade: Ambientes de aprendizagem móvel, a exemplo de quaisquer outros sistemas de software, precisam prover funções que atendam às necessidades explícitas e implícitas esperadas pelos aprendizes, professores e tutores. Para estas características foram definidos seis requisitos básicos:

- Adequação (++) (GHIM; YOON; RA, 2004; PARSONS; RYU; CRANSHAW, 2007; ZHUANG; YAN, 2009): capacidade que o ambiente de aprendizagem tem de prover um conjunto apropriado de funções com objetivos educacionais específicos, sendo adequado também a aspectos ubíquos de comunicação e integração.

- Acurácia (+++) (NESTEL *et al.*, 2010; PARSONS; RYU; CRANSHAW, 2006; AL-HMOUZ; SHEN; YAN, 2009): quando utilizado em dispositivo móvel, o ambiente precisa ter a capacidade de prover, com o grau de precisão necessário, resultados ou efeitos corretos ou conforme acordados com os usuários. Falhas na acurácia de um software podem ter efeitos diretos no ensino, prejudicando tanto tutores, professores e aprendizes.

- Interoperabilidade (+++) (ECONOMIDES, 2008; NESTEL *et al.*, 2010; AL-HMOUZ; SHEN; YAN, 2009): o ambiente de aprendizagem móvel deve permitir a comunicação e troca de informações com outros sistemas, tais como redes sociais, aplicativos e serviços web, com o objetivo de disseminar e flexibilizar o ensino. Para que isso aconteça é necessário que os ambientes estejam baseados em comportamentos e modelos de dados bem definidos, apoiando-se em padrões, Java, XML, *Web Services*, entre outros. A interoperabilidade é importante principalmente no contexto de instituições de ensino que possuem ambientes legados (ainda funcionais) e passam a inserir e utilizar um ambiente de aprendizagem móvel no dia a dia da instituição. Para que os dados não sejam perdidos,

ambos os ambientes podem comunicar entre si, em versões *desktop, online, mobile*, sem interromper a utilização dos ambientes e sistemas de aprendizagem legados da instituição.

- Acesso (++) (PARSONS; RYU; CRANSHAW, 2007; ZHUANG; YAN, 2009): de modo geral, um ambiente de aprendizagem móvel permite o acesso de um ou mais usuários ao mesmo tempo, porém cada um com sua sessão de utilização. O ambiente deve prover acesso seguro e privado, evitando que não ocorra de maneira acidental ou maliciosa o acesso de pessoas não autorizadas. O acesso em um dispositivo móvel pode ser realizado de maneiras distintas, garantindo maior comodidade. Ele pode ser realizado por meio do acesso de redes sociais, sistemas legados das instituições, reconhecimento de padrões de imagem, entre outros aspectos, garantindo flexibilidade e segurança no acesso ao ambiente de aprendizagem móvel.

- Reutilização (+++) (ECONOMIDES, 2008; OZDAMLI; CAVUS, 2011): o ambiente também deve ser projetado de forma modular, possibilitando a reutilização e incorporação de objetos de aprendizagem, materiais didáticos, mídias, entre outros elementos disponíveis em outros ambientes de aprendizagem. A ideia é permitir a integração entre um ambiente de aprendizagem móvel com um ambiente Web tradicional.

- Recursos Multimídia (+++) (PARSONS; RYU; CRANSHAW, 2006; ZERVAS, 2011): o ambiente deve apoiar tipos diferentes de mídia (como, por exemplo, texto, áudio, vídeo, realidade aumentada), com alta qualidade. As mídias utilizadas devem estar sincronizadas (espacial/temporal), levando a uma orientação correta de vídeo, áudio, imagem e texto. Ressalta-se, também, que os recursos multimídia no contexto da aprendizagem móvel devem ser adaptados e organizados para serem utilizados em conjunto com as atividades educacionais, podendo utilizar-se de novas tecnologias e recursos do dispositivo móvel como forma de mediação pedagógica. Por exemplo, GPS, SMS, realidade aumentada, entre outros.

Segurança: Trata-se de uma característica importante para ambientes de aprendizagem móvel em virtude de sua aplicabilidade e utilização. Devido ao fato que seu acesso é feito via web, ou seja, acesso remoto, existem aspectos que devem ser garantidos para uma maior segurança, sendo identificados três requisitos principais:

- Confiabilidade (++) (PARSONS; RYU; CRANSHAW, 2006; AL-HMOUZ; SHEN; YAN, 2009): permite que o acesso à informação/serviço do ambiente de aprendizagem móvel (independentemente do dispositivo utilizado) só possa ser concebido a usuários autorizados, evitando que o sistema e/ou informações sejam usados por partes que não estejam vinculadas ao ambiente de ensino, ou disciplina/curso.

- Disponibilidade (+++) (ECONOMIDES, 2008; ZARE, 2011): ambientes de aprendizagem móvel devem estar disponíveis para o uso online a qualquer momento. Uma das exigências

para sua adoção é o acesso à Internet, que precisa ser rápido, estável e redundante. Tais aspectos minimizam a possibilidade de descontinuidade do serviço das aplicações. Ressalta-se que, dependendo da tecnologia utilizada, é possível realizar o acesso a esses ambientes de forma *offline* (limitado a algumas funcionalidades), tendo seus dados sincronizados posteriormente com o acesso à Internet.

- Integridade (+++) (REIS; ESCUDEIRO; ESCUDEIRO, 2012; ZARE, 2011): no contexto da aprendizagem móvel as informações trafegam pela web tanto do lado do usuário como do lado do servidor. É importante que essas informações estejam íntegras, isto é, não sejam corrompidas ao longo do caminho, garantindo informações e conhecimentos adequados aos aprendizes. Na aprendizagem móvel os dados precisam ser íntegros, pois além de serem utilizados por professores, instituições, grupos de pesquisa, eles também podem ser utilizados como subsídios para a realização da adaptação ao contexto do aluno, precisando ser corretos para refletir o real contexto de uso e utilização dos aprendizes no contexto educacional.

Desempenho: Esta característica pode apresentar significados diferentes em contextos diferentes. Dentro do escopo de ambientes de aprendizagem móvel, o desempenho está relacionado ao tempo de resposta, expansibilidade e escalabilidade, capacidade de processamento, capacidade de memória livre, consumo de bateria e capacidade de entrada/saída. Neste contexto, destacam-se os seguintes requisitos:

- Escalabilidade (+++) (ECONOMIDES, 2008; YEN; LEE, 2011): capacidade com que o ambiente suporta um número específico de usuários na mesma sessão, observando que um ambiente móvel de aprendizagem deve possibilitar sua utilização por diversos usuários ao mesmo tempo. Neste requisito é importante ter um eficiente balanceamento de carga e gerenciamento de sessão, visto que os usuários podem executar diversas atividades ao mesmo tempo.

- Expansibilidade (+++) (ECONOMIDES, 2008; SHARP *et al.*, 2003): uma das premissas da aprendizagem móvel é proporcionar flexibilidade e integração no ensino a distância. Para isso, muitos ambientes utilizam-se da ideia de componentes baseados em serviço, permitindo maior interoperabilidade entre as aplicações e redes sociais. Neste contexto, a expansibilidade pode significar a facilidade com que novos serviços podem ser adicionados ou estendidos dentro deste tipo de sistema sem afetar os outros serviços e funcionalidades da aplicação. Um exemplo de expansibilidade no contexto de ambientes de aprendizagem móvel é a utilização/consumo de serviços educacionais de terceiros, como, por exemplo, calendários, quadro de notas, quadro de avisos e notícias, gerenciamento de SMS/MMS, entre outros.

- Utilização de Recursos (++) (DEBEVC *et al.*, 2007; SHARP *et al.*, 2003; OZDAMLI; CAVUS, 2011): capacidade do ambiente em utilizar tipos e quantidades apropriadas de recursos, principalmente pela largura de banda consumida na aplicação, que consiste em umas das características que impacta diretamente o desempenho desses ambientes. Em relação a dispositivos móveis, técnicas atuais de compressão de dados (com e sem perda) podem ser utilizadas em conjunto com o ambiente educacional, podendo utilizar aspectos de sincronização síncrona e assíncrona.

- Capacidade de Resposta (++) (NESTEL *et al.*, 2010; PAN; LI; ZHAMG, 2010; ZERVAS, 2011): as respostas do ambiente em relação às atividades e notificações devem ser rápidas e eficientes, não devendo haver atrasos em relação às solicitações dos aprendizes e seus tutores. Dependendo do tipo de mídia ou aplicação, os atrasos devem ser encapsulados por meio de *"loadings"*, proporcionando aos usuários uma estimativa de espera. Ressalta-se que, no contexto da aprendizagem móvel, alguns recursos de resposta/*feedback* podem estar vinculados e dependentes diretamente da telefonia e da sua capacidade.

- Armazenamento de Memória (+) (ECONOMIDES, 2008; PAN; LI; ZHAMG, 2010; SHARP *et al.*, 2003): em relação ao seu armazenamento de memória, o ambiente de aprendizagem móvel deve utilizar a sua memória de modo eficiente, visto que estes são limitados em dispositivos móveis. Algumas técnicas de gestão e *buffer* de memória podem ser utilizadas para aumentar o desempenho e flexibilizar a aplicação. Ressalta-se que atualmente um ambiente de aprendizagem móvel pode utilizar/estar vinculado com serviços de repositório online (por exemplo, *dropbox, google drive*, entre outros), flexibilizando a parte de armazenamento de informações e atividades educacionais. O ambiente pode também possuir o seu próprio serviço de gerenciamento de informações na nuvem, garantindo maior segurança, disponibilidade e redundância dos dados.

- Consumo de Energia (+) (ECONOMIDES, 2008; PARSONS; RYU; CRANSHAW, 2006; ZHUANG; YAN, 2009): representa um dos grandes desafios da computação ubíqua. O ambiente deve ter um consumo de energia eficiente. Atualmente existem técnicas de conservação de energia em dispositivos móveis, permitindo uma redução dos gastos, poupando energia quando nenhuma atividade está sendo executada. É importante ter autonomia de energia ao longo da aprendizagem móvel. Além disso, quando um aprendiz estiver realizando uma determinada tarefa/atividade educacional, o ambiente pode cortar (desativar) algumas funcionalidades do dispositivo móvel (notificação de mensagens, modo avião ligado, brilho e luz, chamadas telefônicas, modo silencioso, entre outros), economizando energia e mantendo a atenção do aprendiz.

- Condições Físicas (++) (PARSONS; RYU; CRANSHAW, 2006; AYALA; CASTILLO, 2008): um dos benefícios da aprendizagem móvel é a comodidade em relação à busca pelo conhecimento e informações, sendo que os usuários utilizam na maioria das vezes os

dispositivos móveis em ambientes físicos diversos. Neste contexto, os ambientes de aprendizagem móvel devem possibilitar funcionalidades específicas em relação à configuração da iluminação, controle do nível de ruído, condições meteorológicas, entre outras, tornando a aplicação flexível para diferentes ambientes físicos. Muitas destas funcionalidades devem estar em conformidade com a acessibilidade *mobile* (tamanho da letra, botões, luz, cor, entre outros aspectos), sendo responsivo e adaptativo frente ao contexto dos dispositivos móveis.

4.5.2 Critérios Educacionais

Os critérios educacionais têm por objetivo garantir maior competência e adaptação às práticas educacionais, flexibilizando as atividades e tarefas dos aprendizes, levando em consideração aspectos pedagógicos e de usabilidade.

Pedagógicos: Além de requisitos funcionais básicos, os ambientes de aprendizagem móvel devem incorporar requisitos pedagógicos, de modo a facilitar e apoiar atividades de ensino e treinamento. Tais requisitos estão diretamente relacionados à interatividade, motivação e adaptação ao contexto dos aprendizes, proporcionando um ambiente apropriado às práticas educacionais. Os requisitos definidos para esta característica são:

- Conhecimento *Just-in-time* (++) (DEBEVC *et al.*, 2007; PAN; LI; ZHAMG, 2010; REIS; ESCUDEIRO; ESCUDEIRO, 2012; SCHEPMAN *et al.*, 2012): os ambientes de aprendizagem móvel devem permitir que o conhecimento do material didático possa ser levado e representado a qualquer lugar, garantindo autenticidade em suas atividades independentemente da sua localização. Isso aumenta o desempenho e a relevância do aprendizado para os aprendizes. Um exemplo deste tipo de conhecimento é o envio de notificações ou mensagens instantâneas para os aprendizes por meio de mensagens de texto, via SMS, ou até mesmo redes sociais, em relação a notas, trabalhos, prazos, avaliações, entre outros aspectos. Isso possibilita que o aprendiz tenha acesso a essas informações em tempo real.

- Visões Separadas (+++) (ZHUANG; YAN, 2009; OZDAMLI; CAVUS, 2011): o ambiente de aprendizagem móvel deve possibilitar a separação de visões em relação ao perfil do usuário (aprendizes, professores e tutores) por meio de permissões e funcionalidades específicas. Algumas funções devem ser ativadas somente na visão do professor e do tutor como, por exemplo, edição de notas, material de referência, agendamento de aulas, entres outros.

- Gerenciamento de Conteúdo (+++) (PAN; LI; ZHAMG, 2010; ZHUANG; YAN, 2009): a organização dos conteúdos nos ambientes de aprendizagem móvel pode ser feita de diferentes maneiras: projetos, definições e unidades temáticas. No *m-learning* é preciso fragmentar o conteúdo da mesma forma quando se trabalha com objetos de aprendizagem,

possibilitando a seleção e utilização de pequenos conteúdos de informações em pequenas unidades com informações completas e íntegras. Destaca-se, entretanto, que existe uma carência na comunidade científica em relação a ferramentas de modelagem educacional para o contexto da aprendizagem móvel. Muitas modelagens educacionais focam no contexto tradicional de aprendizagem, sendo difíceis de se adaptarem ao contexto da aprendizagem móvel.

- Atividades Educacionais (+++) (ECONOMIDES, 2008; ZHUANG; YAN, 2009): os ambientes virtuais de aprendizagem, sejam eles móveis ou não, utilizam-se de diversas atividades e diferentes conteúdos para prover o ensino aos aprendizes. As atividades, recurso multimídias e materiais didáticos utilizados podem ser textos, imagens, gráficos, multimídia, jogos, som, entre outros; todos com o objetivo de descrever instruções e passar conhecimento. Atualmente, no contexto de *m-learning*, por meio de dispositivos móveis, os usuários podem fazer uso de novos recursos de mediação pedagógica flexibilizando e motivando as atividades educacionais tradicionais, por meio da realidade aumentada, giroscópio, sensibilidade ao toque, GPS, entre outros recursos nativos de um dispositivo móvel.

- Adaptação ao contexto (++) (GHIM; YOON; RA, 2004; LAINE *et al.*, 2010; POCATILU; BOJA, 2009): o ambiente de aprendizagem móvel deve ser capaz de detectar automaticamente a informação contextual ligada ao contexto dos usuários, tutores e professores, por exemplo, lugar, tempo, e em alguns casos, as condições físicas de acordo com a situação. Este requisito é essencial para que a situação atual do aluno possa ser inteiramente detectada e gravada pelo ambiente de ensino, proporcionando maior compreensão e conhecimento dos aprendizes por parte dos tutores.

- Interatividade (++) (GHIM; YOON; RA, 2004; ECONOMIDES, 2008; REIS; ESCUDEIRO; ESCUDEIRO, 2012): uma das premissas da aprendizagem móvel é a sua interatividade por meio da utilização de novas tecnologias, proporcionando maior motivação e interatividade das atividades em relação aos aprendizes, professores e tutores. Assim, em ambientes de aprendizagem móvel, ferramentas como os celulares, *tablets* e similares funcionam como agentes interativos no processo de obtenção e busca por conhecimento, podendo estar relacionados à colaboração, redes sociais, grupos de pesquisa entre outros.

Usabilidade: A interface de qualquer software é um dos pontos fortes para sua aceitação por parte dos clientes. No contexto de ambientes de aprendizagem, principalmente para dispositivos móveis, a interface deve ser fácil de aprender, facilitando o reconhecimento e a lembrança, por parte dos usuários, de todas as suas funções. Além disso, é aconselhável que seja simples e fácil de operar, lembrando ainda que podem existir usuários com faixas etárias diferentes. Neste cenário, foram identificados sete requisitos básicos:

- Inteligibilidade (+++) (ECONOMIDES, 2008; REIS; ESCUDEIRO; ESCUDEIRO, 2012): o ambiente deve possibilitar a sua utilização pelos usuários de maneira simples e fácil, evitando que estes tenham que passar por cursos e treinamento. Além da facilidade de uso do ambiente, as funcionalidades devem estar alinhadas de forma adequada possibilitando um uso correto tanto em relação ao dispositivo móvel como com respeito aos objetivos e atividades de ensino. A inteligibilidade em ambientes de aprendizagem móvel deve ser flexível, permitindo que o usuário utilize um dispositivo móvel de forma fácil e simples em relação às atividades educacionais.

- Atratividade/Motivação (+++) (ZHUANG; YAN, 2009; SHARP *et al.*, 2003): a utilização de dispositivos móveis, juntamente com o advento da computação ubíqua, aumenta a motivação do aprendiz em relação ao comprometimento de usar e aprender com o próprio ambiente. Para o aprendiz este novo tipo de aprendizagem é um fator novo, proporcionando maior curiosidade para assimilar informações e conhecimentos.

- Operacionalidade (++) (DEBEVC *et al.*, 2007; OUTTAGARTS, 2009; YEN; LEE, 2011): o ambiente, no contexto do *m-learning*, deve ser simples, flexível e conveniente para operar (por exemplo, número mínimo de cliques para localizar e exibir informações, número mínimo de abas para exibir informações).

- Apreensibilidade (++) (SHARP *et al.*, 2003; HSU; HO, 2012): o ambiente não deve distrair cognitivamente os usuários ao longo das atividades educacionais; pelo contrário, deve atrair a atenção do aluno e garantir a sua concentração. Existem algumas iniciativas para *m-learning* em que, dependendo da tarefa a ser realizada, como por exemplo, testes, simulados ou atividades de leitura, algumas funcionalidades dos dispositivos móveis são desabilitadas momentaneamente. A apreensibilidade em dispositivos móveis pode ser impulsionada na execução de atividades educacionais utilizando recursos nativos de um dispositivo móvel, alarmes, notificações, animações, entre outros aspectos, proporcionando uma maior facilidade de assimilação de informações e conhecimentos.

- *Layout* e Organização (+++) (ECONOMIDES, 2008; REIS; ESCUDEIRO; ESCUDEIRO, 2012; AL-HMOUZ; SHEN; YAN, 2009): o ambiente deve proporcionar um *layout* simples e bem estruturado. Deve ser esteticamente atraente, agradável e divertido de usar, garantindo maior motivação por parte dos aprendizes. O plano de fundo, menus, barra de ferramentas, botões e ícones devem possuir uma harmonia estrutural, principalmente em relação a cores e dimensões. O número de páginas deve ser bem trabalhado possibilitando a troca de níveis de páginas em um dispositivo móvel.

- Acessibilidade (++) (REIS; ESCUDEIRO; ESCUDEIRO, 2012; POCATILU; BOJA, 2009; SCHEPMAN *et al.*, 2012): os ambientes de aprendizagem móvel devem tentar garantir o máximo de acessibilidade aos usuários, independentemente de capacidades específicas e cognitivas. Os ambientes devem apoiar diferentes linguagens de comunicação e cognição,

e aproveitar as funcionalidades específicas de um dispositivo móvel, como, por exemplo, ampliação da tela/*zoom*, rotação da tela, customização de cores e brilho.

- Ajuda (+) (AYALA; CASTILLO, 2008; SHARP *et al.*, 2003): por se tratar de um ambiente de aprendizagem móvel, este deve possuir formas e funções de apoio ao usuário do ambiente. Deve conter descrições sucintas das atividades e das operações a serem realizadas, possibilitando também diferentes idiomas, dicionários, FAQ's, entre outros. Na aprendizagem móvel, é aconselhável que o ambiente de aprendizagem possua pequenas demonstrações dinâmicas sobre o uso e acesso das funcionalidades, sendo apresentadas ao usuário principalmente durante o primeiro acesso.

4.5.3 Critérios Econômicos

No domínio econômico, existe uma preocupação quanto à viabilidade e garantias frente à utilização de ambientes educacionais, precisando de um balanceamento entre custo e benefícios da aplicação, necessitando levar em consideração aspectos ligados ao suporte e nível de serviços.

Suporte: Pode ser considerado um diferencial de qualidade para os ambientes de aprendizagem. Todo o serviço proporcionado deve ter um suporte eficiente aos seus usuários, de maneira a possibilitar questionamentos, esclarecimento de dúvidas e notificações de eventuais problemas ao ambiente. Os principais requisitos identificados com respeito a este aspecto foram:

- Customização (++) (ECONOMIDES, 2008; WEXLER *et al.*, 2008): as mudanças e ações no ambiente devem ser adaptadas para o usuário final, mediante seu perfil, preferências e restrições. As respostas a qualquer mudança (física ou ambiental) devem ser tratadas de modo transparente para o usuário, de forma imediata e eficaz. Por exemplo, se não houver luz natural adequada para visualização das informações, o sistema pode aumentar automaticamente o brilho da luminosidade por meio do dispositivo móvel.

- Tolerância a Erros (+) (ZERVAS, 2011; POCATILU; BOJA, 2009): os erros devem ser facilmente reparados com o mínimo de esforço e recursos, pois o ambiente de aprendizagem deve ser capaz de continuar a sua operação em caso de falha em algumas de suas partes. Sua reparação deve ser transparente aos alunos, evitando que demais recursos sejam perdidos, principalmente em submissões de trabalhos e mensagens. Tratamento de erros em relação aos serviços de telefonia devem ser considerados, pois em relação ao uso de um dispositivo móvel, diferentes tipos de erros podem ocorrer ao longo da realização de atividades educacionais. Por exemplo, erros de telefonia, de funcionalidade, de hardware, de mobilidade, de rede, entre outros.

- Instalação (+++) (AYALA; CASTILLO, 2008; POCATILU; BOJA, 2009): quanto à sua instalação, o ambiente deve ser fácil de ser instalado em um dispositivo móvel, evitando

complicações aos usuários em relação a versões, sistemas operacionais, distribuição e outros.

- Atualização e Configuração (+++) (ECONOMIDES, 2008; ZARE, 2011): um ambiente de aprendizagem móvel deve passar por atualizações e configurações automáticas. Tais mecanismos devem ser tratados de modo fácil, rápido e automático, evitando erros por parte dos usuários. Os serviços de atualizações automáticas frente a um ambiente de aprendizagem móvel podem trazer benefícios ao contexto educacional, pois fazem com que informações mais técnicas de configurações fiquem transparentes para os usuários finais. No entanto, ressalta-se que essas atualizações devem ser feitas com planejamento e organização, pois atualizações demoradas e repentinas podem afetar determinadas atividades educacionais, como, por exemplo, em relação à entrega de trabalhos ou avaliações.

Nível de Serviço: É uma característica essencial aos ambientes de aprendizagem móvel, visto que a transferência de dados de uma instituição de ensino pode levar à perda de informações ou à exposição de informações sigilosas. É preciso estabelecer níveis de serviço, possibilitando maior segurança na utilização das aplicações juntamente com a continuidade dos ambientes. Os principais requisitos atribuídos a esta característica são:

- Plano de Continuidade (+++) (ECONOMIDES, 2008; POCATILU; BOJA, 2009): representam estratégias e procedimentos permitindo planos (físicos e lógicos) de recuperação gradual, recuperação intermediária e recuperação imediata em ambientes de ensino, evitando a interrupção prolongada das práticas educacionais. Os planos de recuperação devem ser testados regularmente para garantir maior confiabilidade e disponibilidade do ambiente para os usuários. Os planos e estratégias de continuidade (físicas ou lógicas) são de extrema relevância para o contexto da aprendizagem móvel, independentemente do seu contexto de utilização (apoio a cursos presenciais, a distância, simuladores, treinamentos, entre outros).

- Acordo de nível de Serviço (++) (PAN; LI; ZHAMG, 2010; ZARE, 2011)): em relação a um requisito mais contratual, tais ambientes devem possuir diferentes tipos de SLA (*Service Level Agreement*). Essas licenças devem variar de acordo com o número de utilização de participantes, quantidade de materiais (conteúdos) e funcionalidades. Outras características podem ser importantes para definirem o tipo de licença. Pode-se levar em conta, por exemplo, a flexibilização da ferramenta, a visibilidade, descontos em relação a sua utilização e garantias de disponibilidade e redundância dos dados. SLA são importantes principalmente quando se utiliza e comercializa um ambiente de aprendizagem móvel em instituições de ensino. É aconselhável que requisitos de SLA sejam incorporados em alguma camada de gerenciamento de qualidade, podendo ser implementados na prática.

- Custo-Benefício (++) (PARSONS; RYU; CRANSHAW, 2006; SHARP *et al.*, 2003): os custos de desenvolvimento, compra e manutenção de ambientes de aprendizagem devem ser baixos. Umas das premissas básicas do *m-learning* é flexibilizar o alcance do ensino, sendo economicamente viável para atingir um grupo específico de aprendizes, possibilitando seu uso e distribuição. Este requisito leva em consideração as fases de compra, operação, reparo, modernização e riscos que devem ser considerados para estes ambientes. É importante destacar que a aprendizagem móvel pode ser utilizada e adotada em locais com carência de infraestrutura física (salas de aula) e recursos humanos presenciais, fazendo com que o custo benefício seja viável a tal situação e haja um aumento na expansão e alcance da educação. Uma forma de flexibilizar o custo, por exemplo do ambiente educacional, é utilizar e integrar serviços educacionais e gerenciais gratuitos ao ambiente.

4.5.4 Critérios Sócio-Culturais

Aspectos sócio-culturais garantem adequação aos fatores que dizem respeito a um determinado grupo social e ao nível cultural dos indivíduos que realizam as práticas educacionais, levando em consideração a comunicação e a portabilidade do ambiente.

Comunicação: é uma característica fundamental no ensino e aprendizagem, sobretudo em ambientes de ensino virtual. Os ambientes de aprendizagem móvel, por possuírem objetivos semelhantes, também devem garantir uma comunicação eficiente por meio dos aprendizes, tutores e professores. Toda comunicação é realizada por meio de dispositivos móveis, sendo ela assíncrona e dependente da Internet. Os requisitos definidos são:

- Resultado e *Feedback* (+++) (NESTEL *et al.*, 2010; LAINE *et al.*, 2010): de modo a flexibilizar o ensino a distância, tais ambientes devem possuir funcionalidades de *feedback* de desempenho dos aprendizes de forma instantânea, por meio de escore de testes, comparativo de respostas, entre outros. A comunicação em ambientes de aprendizagem móvel pode ser integrada com sistemas de redes sociais, possibilitando a integração da funcionalidade de *feedback* com outras ferramentas de disseminação e comunicação.

- Atividades Individuais e em Grupo (+++) (CHENG; JHOU; LIOU, 2007; ECONOMIDES, 2008; MARTIN, 2010): um dos benefícios do *m-learning* é a comunicação integrada entre diversos aprendizes, mesmo que eles estejam em locais fisicamente separados. Neste contexto, os ambientes devem proporcionar atividades individuais e, quando possível, aplicar atividade em grupo, estimulando o desenvolvimento de tarefas em conjunto com dois ou mais aprendizes ao mesmo tempo.

- Colaboração (++) (CHENG; JHOU; LIOU, 2007; GLAVINIC; LJUBIC; KUKEC, 2009; HSU; HO, 2012): os ambientes devem possuir ferramentas específicas para colaboração de tarefas, sendo feitos por meio de *wikis*, jogos, microblogs e grupos. A colaboração é

um dos requisitos básicos da aprendizagem móvel. Assim, um ambiente de aprendizagem móvel deve prover mecanismos de colaboração entre os seus diversos usuários, permitindo que o aprendiz saia de um contexto de "assimilação" de informações e passe a ter um contexto de "construção" da informação, sendo construído por aprendizes, professores e tutores.

- Sincronização (++) (CHENG; JHOU; LIOU, 2007; POCATILU; BOJA, 2009): devem possuir comunicações síncronas ou assíncronas com os dispositivos móveis dos usuários, permitindo um fluxo de informações de "um-para-um", "um-para-muitos" e "muitos-para-um". A sincronização e a coordenação entre os meios de comunicação, dispositivos e redes também são relevantes.

- Gerenciamento de Avisos e Mensagens (++) (ECONOMIDES, 2008; LAINE *et al.*, 2010): no processo de aprendizagem móvel os aprendizes devem receber avisos e comunicados por meio de SMSs/MMSs. Além dos avisos básicos, o ambiente deve proporcionar aos aprendizes mensagens com conteúdo de desempenho, participação e porcentagem na realização do curso ou disciplina.

Portabilidade: O aprendiz deve conseguir interagir com conteúdos didáticos, recursos multimídias, objetos de aprendizagem, entre outros a qualquer hora e em qualquer lugar, garantindo maior comodidade e flexibilidade durante o ensino. O aprendiz passa a utilizar seu dispositivo móvel com o objetivo de extrair e inserir conhecimento independentemente do tempo e do lugar. Os requisitos relacionados são:

- Adaptabilidade (++) (ECONOMIDES, 2008; OZDAMLI; CAVUS, 2011; ZARE, 2011): capacidade do ambiente para ser adaptado em diferentes cenários e dispositivos, sem necessidade de aplicação de outras ações (configurações) ou meios além daqueles fornecidos para a finalidade do software. Tal adaptabilidade deve ser realizada automaticamente, de forma transparente para os usuários do ambiente educacional, evitando dificuldades de acesso e utilização em diferentes dispositivos móveis.

- Coexistência (+) (MARTIN, 2010; OZDAMLI; CAVUS, 2011): os aplicativos dos ambientes de aprendizagem móvel devem coexistir com outros aplicativos independentes em um ambiente comum, compartilhado diversos recursos dos dispositivos móveis, como armazenamento, comunicação, bateria, funcionalidades nativas de telefonia, entre outros.

- Portabilidade para dispositivos móveis (+++) (ZERVAS, 2011; SCHEPMAN *et al.*, 2012; YEN; LEE, 2011): ferramentas de aprendizagem móvel devem ser portáteis em relação a diferentes dispositivos móveis, possibilitando que os aprendizes possam utilizá-las em qualquer lugar e em qualquer tempo por meio de um PDA, *tablet, smartphone*, entre outros. Neste contexto, ambientes de aprendizagem móvel precisam prover funcionalidades que

possam ser adaptadas e responsíveis para diferentes dispositivos móveis, garantindo a sua acessibilidade e desempenho de uso por parte dos usuários.

4.6 Considerações Finais

A principal motivação para a proposta de um catálogo específico ao domínio da aprendizagem móvel foi a ausência de padrões em relação a características e requisitos específicos para este contexto de ensino. O catálogo de requisitos foi definido e detalhado por meio da investigação de trabalhos correlatos, por meio do planejamento e execução de uma Revisão Sistemática. Os requisitos do catálogo foram complementados e priorizados por meio da ajuda e participação de especialistas da área.

As características e requisitos identificados no catálogo, além de ajudarem na concepção e desenvolvimento de novos ambientes de aprendizagem móvel, facilitam a definição de um vocabulário comum frente a este contexto de aprendizagem. A definição e organização de um vocabulário comum, por sua vez, proporcionam, uma fonte de informação relevante para elaboração de conceitos relacionados à uma arquitetura de referência.

Ressalta-se, assim, a importância da definição deste catálogo, em um sentido de entender e compreender o contexto da aprendizagem móvel, principalmente em relação a sua utilização e construção. Um dos objetivos principais da proposta deste catálogo é que ele, juntamente com as características e requisitos, possa ajudar na proposta de uma arquitetura de referência por meio da construção de requisitos arquiteturais. Outros objetivos poderiam ser alcançados com o apoio deste catálogo, como, por exemplo, definição de métricas de qualidade, definição de uma linha de produto de software, propostas de um modelo de referência, entre outros aspectos arquiteturais da aprendizagem móvel.

Com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel, no próximo capítulo são apresentados detalhes em relação ao estabelecimento de uma arquitetura de referência orientada a serviços, denominada *Ref-mLearning*. As informações contidas no catálogo (características e requisitos) foram utilizadas para ajudar e apoiar na proposta dos requisitos arquiteturais da *Ref-mLearning*.

CAPÍTULO

5

ESTABELECIMENTO DE UMA ARQUITETURA DE REFERÊNCIA ORIENTADA A SERVIÇOS PARA AMBIENTES DE APRENDIZAGEM MÓVEL

5.1 Considerações Iniciais

Este capítulo apresenta a proposta da *Ref-mLearning*, arquitetura de referência orientada a serviços para ambientes de aprendizagem móvel. O estudo e a proposição desta arquitetura tem como objetivo apoiar e flexibilizar a fase arquitetural no processo de desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel, permitindo que gerentes, projetistas e arquitetos de software identifiquem *features*[1] necessárias para o desenvolvimento de um ambiente educacional com qualidade, garantindo maior reúso e interoperabilidade para as práticas educacionais.

Este capítulo está organizado de acordo com as etapas do ProSA-RA. O ProSA-RA é um processo sistemático incremental e evolutivo utilizado para a concepção de arquiteturas de referência em diversos domínios de software (NAKAGAWA, 2006), possuindo as seguintes etapas de desenvolvimento: (1) Investigação das Fontes de Informação, (2) Definição dos Requisitos Arquiteturais, (3) Elaboração e Definição da Arquitetura, e (4) Avaliação da Arquitetura.

Na Seção 5.2 é apresentada a investigação das fontes de informações, sendo decompostos em três grupos de interesse, sendo eles: (1) Arquiteturas Concretas para Ambientes de Aprendizagem Móvel; (2) Arquiteturas Orientadas a Serviços; e (3) Modelos/Arquiteturas de Referências para o Domínio Educacional, levando em consideração aspectos educacionais, ubíquos e orientados a serviços. Na Seção 5.3 são sumarizadas as ideias coletadas pelas fontes

[1] *Features* representam as capacidades/características do domínio, obtidas através de especialistas, usuários e sistemas já existentes (CLEMENTS; NORTHROP, 2002).

de informações por meio de requisitos arquiteturais, possibilitando a construção das visões da *Ref-mLearning*. É importante destacar que a definição dos requisitos arquiteturais foi executada por meio da análise realizada na investigação das fontes de informações juntamente com a complementação de informações do catálogo de requisitos apresentados no Capítulo 4. Tais fontes agregaram conhecimento em relação a critérios e requisitos específicos de aprendizagem móvel, da orientação a serviços, e de padrões identificados em arquiteturas concretas de ambientes de aprendizagem móvel. Na Seção 5.4 são destacados o projeto da arquitetura *Ref-mLearning*, seus conceitos, relacionamentos, descrições e principalmente suas visões arquiteturais. Na Seção 5.5 é mostrada a avaliação e validação da *Ref-mLearning*, destacando o processo e as formas de avaliação em relação a uma arquitetura de referência. Por fim, na Seção 5.6 são apresentadas as considerações finais do capítulo.

5.2 Investigação das Fontes de Informação

No primeiro passo para o estabelecimento da *Ref-mLearning*, denominado "Investigação das Fontes de Informações", foram determinados três grupos de fontes de informações relevantes em relação ao domínio de aplicação de ambientes de aprendizagem móvel e SOA, sendo eles: (1) Arquiteturas Concretas para Ambientes de Aprendizagem Móvel; (2) Arquiteturas Orientadas a Serviços; e (3) Modelos/Arquiteturas de Referências para o Domínio Educacional. A decisão da segmentação dos grupos das fontes de informações foi baseada em outros trabalhos correlatos, que aplicaram e utilizaram o processo ProSA-RA (NAKAGAWA, 2006; OLIVEIRA; NAKAGAWA, 2010; FIORAVANTI; NAKAGAWA; BARBOSA, 2010; AFFONSO; NAKAGAWA, 2013).

A divisão dos grupos de informações ajuda no entendimento e na definição de requisitos arquiteturais da arquitetura de referência. Nas próximas seções são discutidos detalhes sobre as fontes de informações utilizadas para propor e elaborar a *Ref-mLearning*. Cada fonte de pesquisa é discutida e analisada separadamente. Cada uma possui resultados específicos, sendo fundamental no processo e elaboração da arquitetura.

5.2.1 Arquiteturas Concretas relacionadas a Ambientes de Aprendizagem Móvel

Esta seção apresenta uma revisão de trabalhos envolvendo arquiteturas concretas relacionadas a ambientes de aprendizagem móvel, sintetizando o que tem sido pesquisado na área. Esta análise é relevante para a proposta da *Ref-mLearning*, possibilitando a identificação de tendências e padrões utilizados na construção de ambientes educacionais. Os trabalhos analisados apresentam pontos importantes relacionados à comunicação, segurança, modularização, adaptação ao contexto e interoperabilidade por meio da orientação a serviços. A busca dos trabalhos foi realizada por meio de uma Revisão Bibliográfica.

No trabalho de Oton *et al.* (2010), intitulado "*Service Oriented Architecture for the Implementation of Distributed Repositories of Learning Objects*", são evidenciados dois aspectos relevantes para a implementação e desenvolvimento de sistemas de *e-learning*, possíveis serem reaproveitados em ambientes de aprendizagem móvel: a reutilização e a interoperabilidade entre os repositórios de objetos de aprendizagem. Neste contexto, os autores apresentam uma arquitetura orientada a serviços, implementada por meio de serviços Web, proporcionando a descoberta de objetos de aprendizagem armazenados em repositórios diferentes, independentemente da sua localização física ou tecnologia de armazenamento. Vale ressaltar que esta independência só é possível por meio da utilização de aspectos orientados s serviços.

Na mesma linha de pesquisa, Palanivel e Kuppuswami (2011) com o trabalho "*Service-Oriented Reference Architecture for Personalized E-learning Systems*" também propõem e organizam uma arquitetura de referência orientada a serviços específica para ambientes de *e-learning*. Os aspectos das arquiteturas orientadas a serviços abordados nos trabalhos referenciados ajudarão a evidenciar funcionalidades específicas para a elaboração de uma arquitetura de referência para ambientes de aprendizagem móvel, já que, indiretamente, os ambientes de aprendizagem móvel apresentam características similares em relação a um ambiente de *e-learning*. Os aspectos orientados serviços desta arquitetura proporcionaram maior interoperabilidade, reúso, modularização e escalabilidade às práticas educacionais.

Jong, Specht e Koper (2008) apresentam um modelo de referência ("*A Reference Model for Mobile Social Software for Learning*") para sistemas sociais móveis, como por exemplo redes sociais e sistemas de aprendizagem, sistemas os quais são utilizados por diversos usuários, possibilitando a intercomunicação entre eles. O trabalho, cujo objetivo é a proposta de um modelo de referência, contribui significativamente a esta proposta, pois se pretende identificar e aplicar requisitos essenciais que ajudarão a conceber uma arquitetura de referência específica para ambientes de aprendizagem móvel. Focando especificamente em aspectos de comunicação, adaptação ao contexto dos usuários e segurança nas trocas de informações (garantindo sigilo e integridade).

Dando continuidade à identificação de trabalhos correlatos, o projeto *MOBIlearn* (LONSDALE; BABER; SHARPLES, 2004) tem como objetivo apoiar uma ampla gama de serviços e aplicações para o ensino em dispositivos de computação móvel, com foco na adaptação ao contexto dos aprendizes e tutores. A adaptação ao contexto dos usuários é relevante frente aos ambientes virtuais de ensino vendo que normalmente o comportamento de aprendizagem do aluno é alterado de acordo com características inerente ao ambiente e ao conteúdo com o qual o aluno interage, podendo o mesmo ter comportamentos diferentes quando o ambiente é mudado, ou mesmo, quando o assunto abordado é diferente. Um dos pontos relevantes da pesquisa é a proposta de uma arquitetura orientada a objetos para o projeto *MOBIlearn*, baseada em recursos, requisitos e funcionalidades, considerando implicações envolvidas na utilização de um sistema de aprendizagem móvel aplicada ao contexto, juntamente com aspectos de comunicação.

Em outra iniciativa intitulada "*Paper or interactive?: a study of prototyping techniques for ubiquitous computing environments*", Liu e Khooshabeh (2003) estudaram os efeitos de diferentes níveis de usabilidade no protótipo *Ubicomp*. Os resultados mostraram que o protótipo interativo conseguiu suprir diversos requisitos específicos de usabilidade em relação a uma aplicação móvel. Além dos resultados principais, os autores identificaram que muitos aspectos de usabilidade encontrados em um sistema convencional são mais custosos e exclusivos quando o domínio em questão é para aplicativos móveis. Como contribuição ao presente trabalho, os requisitos de usabilidade representam características importantes para garantir uma maior qualidade em relação ao usuário final, podendo impactar diretamente a arquitetura do sistema. Além disso, outras características como, por exemplo, segurança, desempenho, comunicação e escalabilidade, também podem afetar diretamente ambientes de aprendizagem móvel.

O trabalho de Basaeed *et al.* (2007), intitulado "*Web-Based Context-Aware m-Learning Architecture*", propõe uma arquitetura cujo o objetivo é facilitar a contextualização do ensino utilizando amplamente a ideia de padrões web e *Web Services*. Nesta pesquisa os autores utilizaram uma abordagem sistemática para identificar os componentes baseados na contextualização da aprendizagem, definindo suas funcionalidades e características. A justificativa desta pesquisa tem como base o fato de que a sensibilidade ao contexto é essencial na aprendizagem móvel, sendo um ambiente altamente personalizado com diversas capacidades de ensino e aprendizado. Tal sensibilidade, no entanto, é um dos grandes desafios a serem alcançados no contexto da aprendizagem móvel.

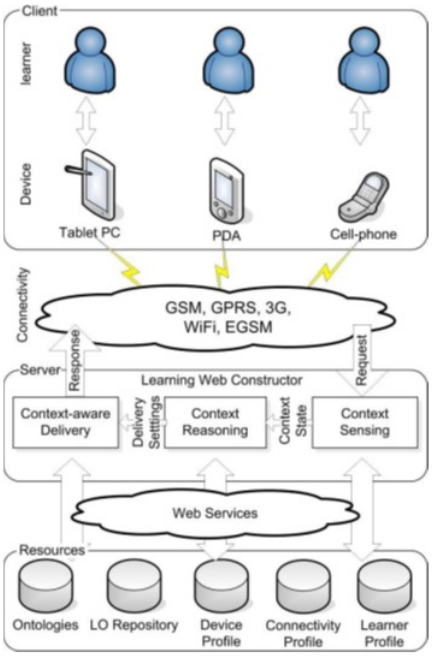
Em linhas gerais, o trabalho fornece um detalhamento da arquitetura proposta, a fim de descrever a relação entre seus componentes e suas funcionalidades, incorporando diretamente aspectos da orientação a serviços. A arquitetura utiliza *Web Services* para conectar e interligar os recursos que fazem parte da arquitetura, tornando-os reutilizáveis. Na Figura 19 é ilustrada a arquitetura genérica, constituída por três camadas baseada em *Web Services*. Segundo os autores, a arquitetura foi elaborada com o intuito de que qualquer usuário que tenha acesso a um dispositivo móvel com um navegador e uma conexão à Internet possa usar o aplicativo ou ambiente de ensino, garantindo sensibilidade ao contexto do ensino.

Características no contexto da aprendizagem móvel também foram tratadas como, por exemplo, instalação, portabilidade, escalabilidade e desempenho. Tais requisitos são importantes quanto à necessidade de instalar o sistema, tornando-o disponível para qualquer pessoa, em qualquer lugar e a qualquer momento (princípio básico da aprendizagem móvel). A organização da arquitetura facilita o controle centralizado sobre a administração e configuração dos ambientes de ensino, proporcionando ainda um processo de atualização do sistema de forma transparente aos usuários. Sua arquitetura foi projetada por meio de multi-plataformas, ou seja, possibilitando o acesso por meio de celulares, *smartphones, tablets*, entre outros.

Além da interoperabilidade, foram verificadas diversas funcionalidades relacionadas à comunicação, segurança e apresentação de conteúdo. A ideia é que diferentes dispositivos

móveis possam acessar os conteúdos de forma diferente e com níveis diferentes de suporte de tecnologia (*mark-up language*, *plug-ins*, etc).

Figura 19 – Arquitetura orientada a serviços baseada em contextos de aprendizagem.



Fonte: Basaeed *et al.* (2007).

Na arquitetura proposta podem-se verificar três categorias contextuais: alunos (*Leaner*), dispositivo (*Device*) e conectividade (*Connectivity*). Cada categoria pode ser subdividida para um conjunto de atributos e valores. Esses atributos são definidos direta ou indiretamente para formar o contexto atual da aprendizagem que, por meio de *Web Services* podem tornar o ambiente mais escalável e interoperável, comunicando-se com repositórios, base de dados, redes sociais, entre outros sistemas.

Em níveis tecnológicos, o processo de detecção, adaptação e fornecimento do conteúdo é repetido durante a sessão de aprendizagem. Em outras palavras, a camada do cliente é manipulada pelo navegador web do dispositivo móvel (sendo ele qualquer navegador), a camada intermediária é implementada usando uma linguagem do tipo servidor (PHP, ASP, JSP, etc), e o terceiro nível (recursos) é baseado em documentos XML (facilitando e padronizando a comunicação).

Em complementação ao trabalho anterior, Thanh e Jorstad (2005), com o trabalho "*A Service-Oriented Architecture Framework for Mobile Services*", propõem uma arquitetura orientada a serviços para serviços móveis, levando em conta sua utilização em aplicações de sistemas distribuídos. Os autores apresentam uma visão geral da arquitetura, com ênfase em aspectos baseados em serviços, fazendo um mapeamento dos requisitos dos serviços móveis para os serviços web, demonstrando sua interoperabilidade, adaptação e segurança. Em síntese, os requisitos de serviços móveis considerados na arquitetura são identificados a partir de um modelo genérico de serviços móveis, sendo eles: disponibilização de conteúdo, gerenciamento

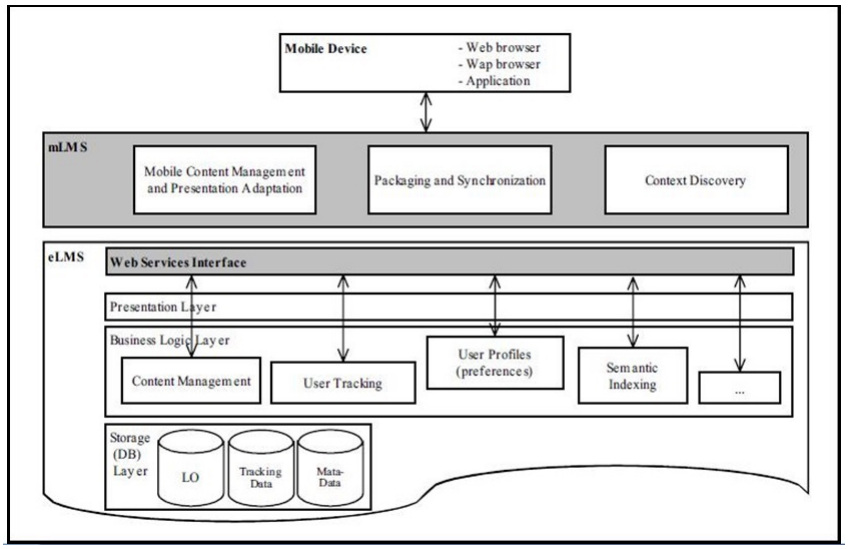
de usuários, escalabilidade, inclusão de novos serviços, segurança, entre outros.

Em outro trabalho, "*A general architecture to support mobility in learning*", Trifonova e Ronchetti (2004) seguem a mesma linha de pesquisa dos trabalhos apresentados anteriormente, propondo uma arquitetura genérica de apoio à aprendizagem móvel. Nessa arquitetura, as funcionalidades de ambientes de *e-learning* são apresentadas como *Web Services* de modo a facilitar a escalabilidade, interoperabilidade e reutilização dos conteúdos educacionais, contemplando aspectos tanto da aprendizagem à distância quanto da mobilidade dos dispositivos móveis. Os autores baseiam-se no fato de que a arquitetura proposta para este contexto deve ser:

- Geral: a arquitetura deve ser capaz de fornecer todos os serviços básicos para um ambiente de ensino e aprendizagem a distância (comunicação, conteúdos, gerenciamento, etc.), agregando também serviços específicos deste novo contexto móvel (adaptação, mobilidade, portabilidade, flexibilidade); e
- Genérica: deve apresentar aspectos que possibilitem o apoio a diferentes dispositivos móveis (*smartphones*, PDAs, *tablets*, PCs, entre outros) com características distintas e, ainda assim, ser facilmente extensível para os dispositivos da nova geração.

A Figura 20 ilustra a arquitetura proposta por Trifonova e Ronchetti (2004). Resumidamente, trata-se de uma arquitetura geral de apoio à mobilidade no contexto de ensino e aprendizagem. Segundo os autores, alguns serviços na arquitetura precisam ser adaptados para serem acessados por meio de dispositivos móveis; por outro lado, devem ser propostos novos serviços vinculados à aprendizagem móvel.

Figura 20 – Arquitetura genérica para sistema de aprendizagem móvel.



Fonte: Trifonova e Ronchetti (2004).

De acordo com a Figura 20, alguns aspectos gerais de um sistema de *e-learning* podem ser identificados, tais como gerenciamento de conteúdo, perfil dos usuários e comunicação.

Aspectos específicos de um sistema de aprendizagem móvel também podem ser considerados: "*Mobile Content Management and Adaptation*"; "*Context Discovery*"; e "*Packaging and Synchronization*".

Por fim, aspectos destacados juntamente com a interação entre os módulos específicos da computação ubíqua (mobilidade, portabilidade e adaptabilidade) permitem a seleção automática de serviços educacionais, flexibilizando a utilização da aplicação em diferentes dispositivos móveis, garantindo interoperabilidade, escalabilidade e algumas necessidades dos usuários como, por exemplo, a utilização parcial do sistema de forma *offline*.

Em outro contexto de pesquisa, Martin, Andueza e Carro (2006) apresentam em seu artigo "*Architecture of a System for Context-based Adaptation in m-Learning*" uma arquitetura baseada no contexto de adaptação para aprendizagem móvel, tendo como principal objetivo proporcionar um sistema que poderá gerenciar de forma eficiente os dados sobre as atividades dos usuários, sendo eles professores, tutores e aprendizes.

Tais atividades resumem-se às características pessoais dos usuários, preferências ou ações realizadas, levando em consideração informações sobre o contexto específico do usuário, tais como o tempo de reposição, localização e informações do dispositivo móvel. Para proporcionar tais características, a arquitetura foi confeccionada por meio de diversas camadas de aplicação, as quais recebem as informações dos usuários juntamente com o seu contexto, selecionando as atividades específicas em relação ao aprendizado (por exemplo, o envio de uma mensagem, o acesso ao modelo educacional, entre outros).

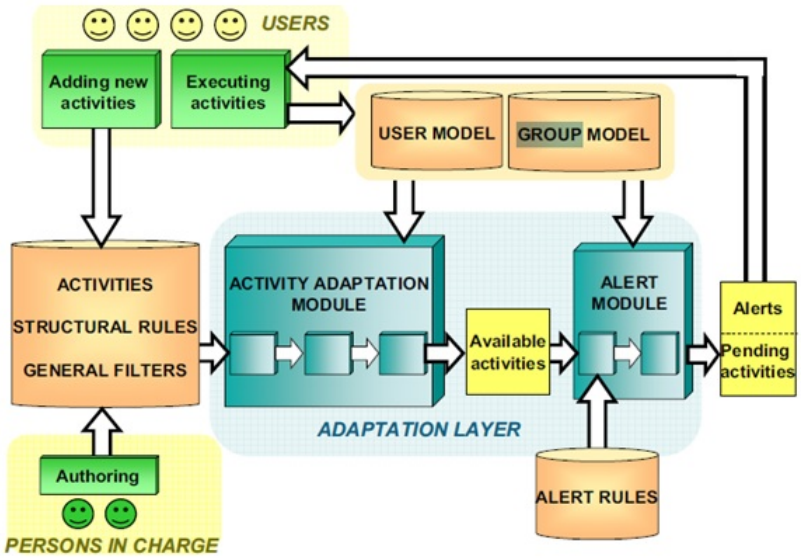
A arquitetura proposta é sintetizada na Figura 21, a qual ilustra a interação das atividades presentes em um ambiente de aprendizagem móvel. Os aspectos contidos na arquitetura permitem que os usuários criem novos eventos de atividades, tais como mensagens a serem lidas e enviadas entre cada usuário ou até mesmo por grupos. Cada atividade pode incluir condições sobre sua disponibilidade de acordo com as informações armazenadas no modelo do usuário, garantindo maior adaptação e flexibilidade aos usuários. A maioria dessas informações está relacionada com características pessoais dos usuários (ou seja, conhecimento, estilo de aprendizagem, personalização, etc.), suas ações (atividades realizadas juntamente com seus resultados), e seu contexto ao interagir com o sistema (ou seja, tempo livre, localização, dispositivos disponíveis).

Além disso, observa-se uma preocupação em relação às características de comunicação e adaptação para ambientes de aprendizagem móvel. Tais características, juntamente com características de *Web Services* (apresentadas nos trabalhos de Trifonova e Ronchetti (2004) e Basaeed *et al.* (2007)), são importantes a fim de proporcionar maior portabilidade, reúso e escalabilidade.

Diferentemente dos trabalhos apresentados até o momento, Martin (2010), com o artigo intitulado "*M2Learn: Towards a homogeneous vision of advanced mobile learning development*", verificou a necessidade e preocupação em se ter uma arquitetura segura e interoperável, capaz de facilitar a manutenção e reúso de ambiente de aprendizagem móvel. Em especial, destacam-se

características específicas para uma arquitetura de aprendizagem móvel, as quais podem ser decompostas em dois níveis: específicos e complementares. O primeiro nível agrega características básicas em relação a um ambiente de aprendizado genérico, sendo elas: captura de dados de contexto, representação dos dados de contexto, privacidade, escalabilidade, sincronismo, extensibilidade e reusabilidade, recursos distribuídos e recursos didáticos.

Figura 21 – Arquitetura para sistemas de aprendizagem móvel.



Fonte: Martin, Andueza e Carro (2006).

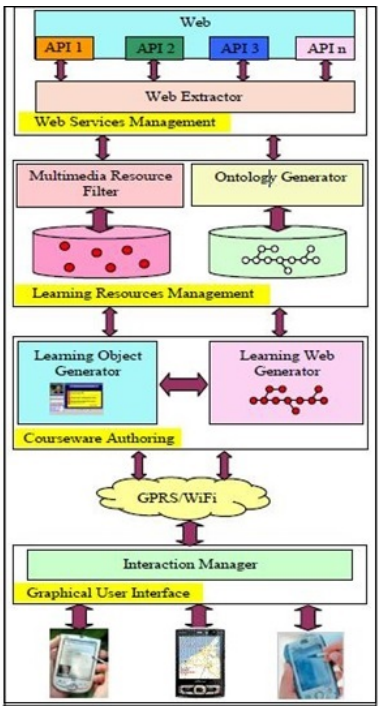
No segundo nível, os autores destacam características complementares para ambientes de aprendizagem móvel como, por exemplo:

- Interoperabilidade: as especificações do ambiente devem permitir a troca de informações com outros sistemas, sendo eles de aprendizagem ou até mesmo em redes sociais;
- Orientado a serviços: o intercâmbio entre os sistemas deve ser definido em termos de *Web Services*, garantindo maior colaboração dos sistemas juntamente com a sua expansibilidade;
- Baseada em componentes: o conjunto de serviços que serão fornecidos como um "conjunto de componentes" pode ser incorporado ou combinado para formar um serviço particular, ou seja, é possível integrar serviços de outros ambientes de ensino, garantindo maior reúso dos objetos de aprendizagem;
- Camadas: o sistema deve ser modelado em camadas, facilitando sua modificação e evolução ao longo do seu ciclo de vida;
- Comunicação e modelos de dados: os serviços dos ambientes de aprendizagem móvel devem ser definidos em termos de seus comportamentos e modelo de dados, tendo como

apoio diversas tecnologias (por exemplo, Java, XML, *Web Services*, entre outros) de modo a garantir eficiência em sua comunicação.

No trabalho de Alzaabi, Berri e Zemerly (2010), intitulado "*Web-based Architecture for Mobile Learning*", observa-se novamente a perspectiva e direcionamento da orientação a serviços. Nesta pesquisa foi desenvolvido um sistema de aprendizagem móvel por meio de uma proposta de arquitetura web a qual explora os recursos de Web Services para gerar material e atividades de aprendizagem, atendendo às reais necessidades dos aprendizes. A Figura 22 ilustra a arquitetura proposta, dividida basicamente em quatro módulos: (1) Gerenciamento de *Web Services*, (2) Gerenciamento de Recursos Didáticos/Aprendizagem, (3) Criação das Informações e (4) Interface Gráfica do Usuário (GUI).

Figura 22 – Arquitetura Web para sistemas de aprendizagem móvel.



Fonte: Alzaabi, Berri e Zemerly (2010).

A arquitetura foi baseada no modelo cliente-servidor. Do lado do cliente tem-se a interface gráfica do usuário, a ser instalada nos dispositivos móveis. Todo o processamento principal está localizado no lado do servidor, onde o material de aprendizagem pode ser obtido pela web, utilizando um conjunto de *Web Services*, que é estruturado e entregue aos usuários do sistema. O sistema de aprendizagem móvel foi implementado seguindo as diretrizes da arquitetura proposta, fornecendo uma aprendizagem web em que os objetos de aprendizagem representam conceitos e sub-conceitos relacionados ao tema de interesse dos usuários. O sistema pode, ao longo do seu ciclo de vida, adicionar novos serviços, possibilitando um aumento de suas funcionalidades e seus objetos de aprendizagem, garantindo maior qualidade e reúso ao desenvolvimento.

No trabalho de Holotescu, Cretu e Grosseck (2014), os autores tendo o objetivo de flexibilizar a comunicação no contexto das aplicações de aprendizagem móvel, definiram uma arquitetura de características especificas para grupos de ensino móveis mediados por plataformas de *microblogging*. Ao longo do estudo, os autores destacaram características visando facilitar a integração entre grupos de ensino móvel em relação a cursos formais, informais, projetos colaborativos, entre outros, utilizando ferramentas de *microblogging*. Além de definir tais características de forma padronizada, o trabalho também define cenários de aplicação, verificando pontos positivos e negativos da utilização de microblogs no contexto da aprendizagem móvel.

Ao longo das fundamentações apresentadas no trabalho, os autores chegaram a um conjunto de benefícios que a utilização de microblogs trazem para o contexto da aprendizagem móvel, podendo destacar:

- a socialização dos alunos de forma fácil e rápida;
- facilidade de comunicação e diminuição de inibição dos alunos em contato com professores e tutores;
- envolvimento dos alunos nas avaliações e dúvidas;
- *feedback* imediato e direto (aprendizes, professores e tutores) em relação às práticas educacionais e avaliações;
- facilidade na observação da avaliação formativa, construindo um *feedback* imediato para os formadores do curso.

A partir do estudo e análise dos trabalhos sintetizados nesta seção, um conjunto preliminar de características básicas com relação a arquiteturas para ambientes de aprendizagem móvel foi identificado:

- Orientação a serviços: garantindo maior flexibilidade e interoperabilidade;
- Adaptação ao contexto: proporcionando aos usuários um ensino baseado no contexto de sua localização e aplicação;
- Comunicação: garantindo uma padronização entre os modelos de comunicação de dados;
- Segurança: possibilitando um ambiente privativo, confiável e ao mesmo tempo sincronizado com os demais usuários do sistema;
- Modularização: estruturação em módulos e componentes, de modo a permitir maior reúso, modificação e qualidade ao longo do seu ciclo de vida.

A Tabela 4 apresenta uma síntese dos trabalhos investigados, tendo como base o conjunto preliminar de características identificados. Ao final, pode-se concluir que existe uma relevância no estudo e utilização de aspectos orientados a serviços no estabelecimento de arquiteturas para ambientes de aprendizagem móvel. Também se pode destacar algumas características/requisitos básicos desses ambientes (adaptação ao contexto, comunicação, colaboração, segurança e modularização), de forma a garantir maior efetividade em relação ao gerenciamento, coleta, criação, entrega e comunicação de atividades educacionais.

Tabela 4 – Síntese dos Trabalhos em relação às Características Arquiteturais.

Trabalhos Relacionados	Características Arquiteturais para Ambientes de Aprendizagem Móvel				
	Orientação a Serviços	**Adaptação ao Contexto**	**Comunicação**	**Segurança**	**Modularização**
Otón et al. (2010)	x		x		
Palanivel and Kuppuswami (2011)	x				x
Jong et al. (2008)		x	x	x	
Lonsdale et al., 2004		x	x		
Liu and Khooshabeh (2003)			x	x	
Basaeed et al. (2007)	x	x	x		x
Thanh and Jorstad (2005)	x		x	x	x
Trifonova and Ronchetti (2004)	x	x			x
Martín et al. (2006)		x	x	x	x
Martin (2010)	x	x	x	x	
Alzaabi et al. (2010)	x		x		x

Fonte: Elaborada pelo autor.

A análise de arquiteturas concretas para ambientes de aprendizagem móvel é importante ao contexto da *Ref-mLearning*, pois evidencia quais as abordagens e tecnologias vêm sendo utilizadas durante o desenvolvimento desses tipos de ambientes. Por fim, é importante observar que as arquiteturas descritas podem ser usadas em celulares, *tablets* e em outros dispositivos móveis. De acordo com os trabalhos investigados, as arquiteturas propostas tendem a ser genéricas em relação aos dispositivos móveis, sendo que esta é umas das premissas básicas no contexto da aprendizagem móvel (ZHUANG; YAN, 2009; ECONOMIDES, 2008; PARSONS; RYU; CRANSHAW, 2007; SCHEPMAN *et al.*, 2012; PAN; LI; ZHAMG, 2010), não possuindo diferenciações em relação a plataformas específicas. Ressalta-se que este é um aspecto relevante para a proposta da *Ref-mLearning*.

5.2.2 Arquiteturas e Aspectos Orientados a Serviço

Com o objetivo de identificar pontos específicos e relevantes em relação à orientação a serviço, esta seção investiga modelos e arquiteturas de referência orientadas a serviço, identifi-

cando aspectos que flexibilizem o reúso e a interoperabilidade de serviços. Esta análise também é importante, possibilitando um maior entendimento e definição de um vocabulário comum para o contexto da orientação a serviço. A Tabela 5 mostra os trabalhos encontrados na literatura, sendo detalhados e discutidos em relação a sua estrutura e características.

Tabela 5 – Relação das arquiteturas e modelos de referência analisados

Trabalho Relacionado	Modelo/Arquitetura
Arsanjani et al. (2007)	Arquitetura de Referência
Dillon et al. (2007)	Arquitetura de Referência
Lan et al. (2008)	Arquitetura de Referência
OASIS (2006)	Modelo de Referência
OASIS (2008)	Arquitetura de Referência
Zimmermann et al. (2009)	Arquitetura de Referência

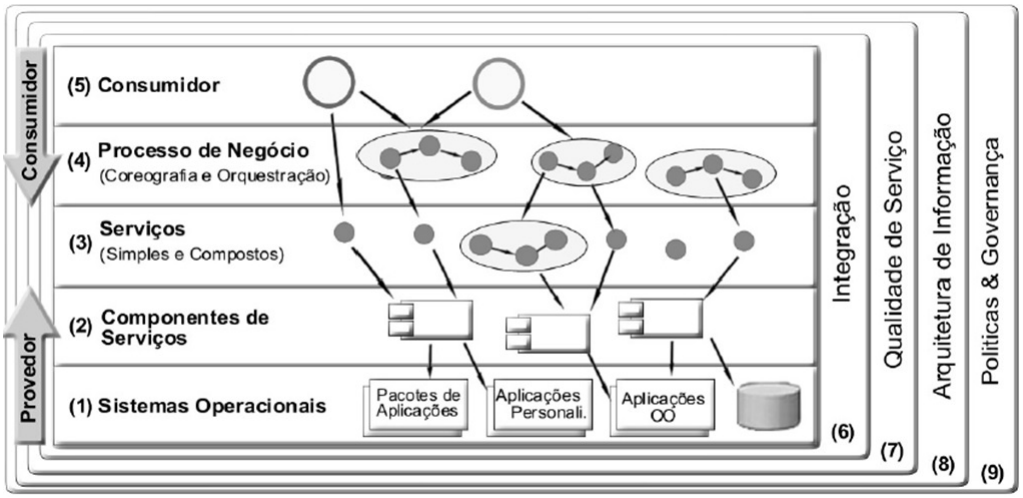
Fonte: Elaborada pelo autor.

O trabalho de Arsanjani *et al.* (2007), cujo objetivo foi propor uma arquitetura de referência (Figura 23) para descrição arquitetural de SOA, descreve nove camadas arquiteturais, sendo elas:

- Camada 1 (Sistemas Operacionais): aborda a infraestrutura da aplicação, flexibilizando e apoiando as atividades de negócios;
- Camada 2 (Componentes de Serviços): trata os componentes do software, representando serviços/métodos ou operações do sistema;
- Camada 3 (Camada de Serviço): representa todos os serviços (simples e compostos) do sistema;
- Camada 4 (Processo de Negócio): camada responsável por realizar a coreografia e orquestração dos serviços, possibilitando a sua composição.
- Camada 5 (Consumidor do Serviço): descreve as diretrizes do consumo (utilização) do serviços, indicando as suas interações;
- Camada 6 (Camada de Integração): responsável por fazer a integração entre as camadas 2 e 3, realizando as requisições entre consumidores e provedores de serviços;
- Camada 7 (Qualidade de Serviço): tem por objetivo garantir qualidade nas trocas de informações, notificando problemas nas transições efetuadas;
- Camada 8 (Arquitetura da Informação): representa as informações arquiteturais referentes aos dados das organizações;

- Camada 9 (Políticas e Governança): aspectos relacionados a políticas e governança, apoiando todas as atividades do ciclo de vida do negócio, garantindo segurança e desempenho baseados nos acordos de nível de serviços.

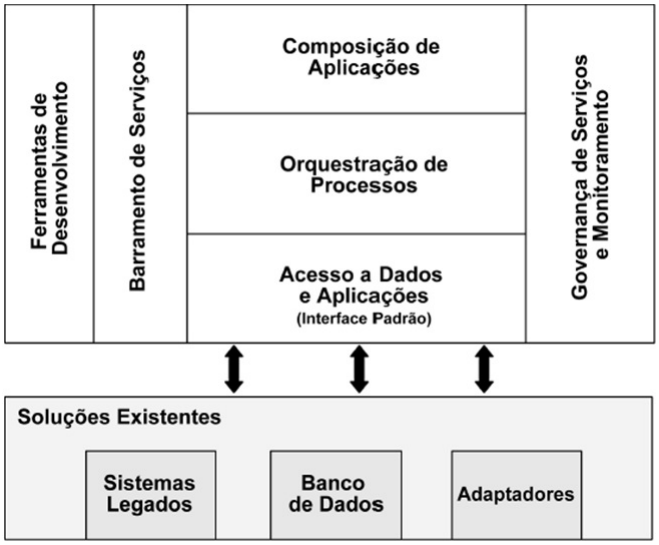
Figura 23 – Arquitetura de Referência proposta por Arsanjani *et al.* (2007).



Fonte: Arsanjani *et al.* (2007).

No trabalho de Lan, Liu e Chai (2008), é proposta uma arquitetura de referência (Figura 24) semelhante à arquitetura de Arsanjani *et al.* (2007). A grande diferença é que ela abrange e descreve um Modelo de Solução (*Solution Model*). O Modelo de Solução, na abordagem de orientação a serviço, define padrões, metodologias e boas práticas de desenvolvimento.

Figura 24 – Arquitetura de Referência (SOA II) proposta por Lan, Liu e Chai (2008).



Fonte: Lan, Liu e Chai (2008).

A arquitetura da Figura 24 é composta basicamente por seis módulos, sendo eles: (1) Acesso a Dados e Aplicações; (2) Orquestração de Processo; (3) Composição de Aplicações; (4)

Barramento de Serviços; (5) Ferramentas de Desenvolvimento; e (6) Governança de Serviços e Monitoramento.

Em complemento aos trabalhos analisados, é possível verificar a proposta de Zimmermann, Kopp e Pappe (2009), a qual apresenta uma arquitetura de referência para facilitar e apoiar o desenvolvimento de sistemas baseados em serviços. Sua estrutura é simples, sendo segmentada em três camadas:

1. Lógica (*Logical Viewpoint*): o ponto de vista lógico é descrito pelo modelo de componentes lógicos (*Logical Component Model*);
2. Física (*Physical Viewpoint*): o ponto de vista físico é descrito pelo modelo operacional físico (*Physical Operational Model*);
3. Cenário (*Scenario Viewpoint*): na visão de cenário, concentra-se em modelos de casos de uso (*Use Case Model*).

Seguindo a mesma linha de pesquisa, porém com uma proposta diferente, a OASIS (2006) define um vocabulário comum juntamente com um entendimento ao estilo arquitetural de orientação a serviços por meio da proposta de um modelo de referência. Neste modelo são definidos relacionamentos e conceitos presentes no domínio SOA, sendo eles: visibilidade, descrição de serviços, políticas, contratos, formas de interação, e contexto de execução. A partir deste modelo, a OASIS (2008) define uma arquitetura de referência facilitando e direcionando os desenvolvedores para construção de sistemas baseado em SOA que sejam independentes de tecnologia, protocolos e aspectos de implementação.

No trabalho de Dillon, Wu e Chang (2007) tendo como base diferentes implementações de sistemas orientados a serviços, foi proposta uma arquitetura de referência com base na engenharia reversa. Esta arquitetura leva em consideração a análise e a inclusão de requisitos (funcionais e não funcionais) já implementados, se apoiando nas melhores práticas de implementação para sistemas orientados a serviços.

Dillon, Wu e Chang (2007) também identificaram conceitos-chaves, similares a todas as arquiteturas e modelos analisados ao longo da sua pesquisa, juntamente com as funcionalidades necessárias para o desenvolvimento de um sistema orientado a serviço independente do domínio. Os conceitos básicos são: (1) Descrição de Serviço, (2) Publicação de Serviços, (3) Interação de Serviços; (4) Governança; (5) Qualidade de Serviços; (6) Composição de Serviços; e (7) Políticas. As funcionalidades são descritas na Tabela 6, cujo relacionamento é feito diretamente com os conceitos básicos da orientação a serviço.

De modo geral, os resultados apresentados na Tabela 6 mostram as diretrizes (padrões) específicas para a construção de aplicações orientadas a serviço, servindo de apoio para a proposta e desenvolvimento de arquiteturas de referência orientadas a serviço para diferentes domínios de aplicação.

Tabela 6 – Relacionamento entre os conceitos da orientação a serviços com diretrizes funcionais

Conceitos	Funcionalidade Identificada
Descrição de Serviço	Disponibilizar informações de interação com serviços
	Disponibilizar modelos para categorização dos serviços
	Disponibilizar métricas e caracteristicas dos serviços
Publicação de Serviços	Possuir padrões de descrições dos serviços
	Publicar descrições de serviços aos consumidores
	Utilizar mediadores para publicar os descritores de serviços
	Informar sobre atualizações dos serviços
	Verificar/Validar as funcionalidades de um serviços
	Verificar/Validar as politicas e contratos de um serviço
Interação de Serviços	Comunicar com demais serviços
	Comunicar com outros serviços por meio do barramento de serviços
	Requisitar serviços atômicos ou compostos
	Responder a solicitação feita por um serviços ou aplicação
Composição de Serviços	Compor os serviços através de um mecanismo de orquestração
	Coordenar os serviços através de um mecanismo de orquestração
	Organizar os serviços por meio de um mecanismos de coreografia
Politicas	Definir restrições por meio de assertivas
	Definir permissões por meio de politicas
	Pesquisar por politicas que atendem os requisitos dos serviços
	Auditar métricas proveniente de restrições dos serviços
Governança	Disponibilizar informações sobre a governança do serviços
	Acessar automaticamente os processos de governança
	Acessar as regras/regulamentos de forma processável
	Pesquisar regras/regulamentos especificos para um serviço
Qualidade de Serviços	Armazenar e capturar *logs* de execução dos serviços
	Definir métricas de conformidade
	Armazenar e capturar o não cumprimento de requisitos de qualidade

Fonte: Dillon, Wu e Chang (2007).

Para complementar e validar as informações obtidas nesta seção, a seguir é realizada uma comparação entre os conceitos identificados na Tabela 6, em relação a arquiteturas de referência propostas para domínios específicos, evidenciando quais conceitos vêm sendo utilizados e aplicados na prática. Os resultados desta comparação permitem identificar quais os conceitos podem ser utilizados na definição arquitetural da *Ref-mLearning*.

A execução desta comparação foi realizada por meio da análise de trabalhos identificados na Revisão Sistemática de Oliveira e Nakagawa (2010). O objetivo desta revisão é analisar padrões entre arquiteturas orientadas a serviços para domínios específicos. A Tabela 7 lista os trabalhos analisados, juntamente com uma breve descrição de seus objetivos.

Os trabalhos referenciados pela Tabela 7 foram analisados e comparados com os conceitos-chaves (Tabela 6) identificados pelas arquiteturas/modelos de referência genéricos para o desen-

volvimento de sistemas orientado a serviços, verificando a aplicação prática destes conceitos em arquiteturas orientadas a serviços para domínios específicos de software. Na Tabela 8 é indicada a presença dos conceitos-chaves nas arquiteturas orientadas a serviços para domínios específicos.

Tabela 7 – Relação dos trabalhos analisados por Oliveira e Nakagawa (2010).

Referência dos Trabalhos	Objetivo resumido dos trabalhos
Brehm and Gómes (2007)	Estruturação dos subsistemas de um sistema ERP na forma de serviços
Choi et al. (2009)	Integração de informações sobre projetos de pesquisa e desenvolvimento de um portal orientado a serviços
Duro et al. (2005)	Interoperabilidade entre sistemas baseados em SOA para monitoramento de solos via satélite
Fioravanti et al. (2007)	Arquitetura de referência multimídia utilizada para o contexto de serviços
Hemalatha et al. (2008)	Disponibilizar ferramentas orientadas a serviços para o processamento digital de imagem
Leppaniemi et al. (2009)	Promove a interoperabilidade entre sistemas para previsão de desastres naturais.
Murakami et al. (2007)	Integração e interoperabilidade entre sistemas para o domínio da agricultura
Peristeras et al. (2009)	Integração entre serviços para ambientes de trabalhos (*e-working*)
Ramanathan et al. (2008)	Integração entre serviços para sistemas de telecomunicações
Zheng et al. (2008)	Aumentar a interoperabilidade entre sistemas com arquitetura SOA focado no ensino e treinamento.

Fonte: Oliveira e Nakagawa (2010).

Tabela 8 – Verificação dos conceitos chaves de SOA em arquiteturas SOA para aplicações com domínio específico

Trabalhos Analisados	Descrição de Serviço	Publicação de Serviços	Interação de Serviços	Composição de Serviços	Governança	Qualidade de Serviço	Políticas
Brehm and Gómes (2007)	x	x	x	-	x	x	x
Choi et al. (2009)	x	x	x	x	-	-	-
Duro et al. (2005)x	x	x	x	x	-	-	-
Fioravanti et al. (2007)	x	x	x	-	-	-	-
Hemalatha et al. (2008)	x	x	x	x	-	-	-
Leppaniemi et al. (2009)	x	-	x	x	-	-	-
Murakami et al. (2007)	x	x	x	-	-	-	-
Peristeras et al. (2009)	x	x	x	x	-	-	x
Ramanathan et al. (2008)	x	x	x	x	-	-	x
Zheng et al. (2008)	x	x	x	x	x	x	-
Total	10	9	10	7	2	2	3

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com os resultados obtidos, observa-se pela Tabela 8, que os conceitos de **Descrição de Serviço, Publicação de Serviços, Interação de Serviços e Composição de Serviços** são amplamente utilizados e representados nas arquiteturas de referência, tornando-se padrões para o domínio de sistemas orientados a serviços. Tais conceitos permitem e flexibilizam o reúso e a interoperabilidade dos serviços, garantindo uma premissa básica do contexto de orientação a serviços.

Por outro lado, observa-se que os conceitos de **Governança, Qualidade de Serviços, e Políticas**, tiveram um baixo índice de identificação nas arquiteturas de referência, demonstrando baixa relevância para a definição arquitetural. Este resultado não implica que tais conceitos sejam menos importantes; indicam apenas que não são necessariamente representados em níveis de abstração, devendo estar presentes na implementação e desenvolvimento de sistemas orientados a serviços.

Esta seção possibilitou levantar evidências em relação aos conceitos de SOA que vêm sendo utilizados para a definição de arquiteturas em domínios específicos. Nota-se que os conceitos relacionados com Descrição de Serviços, Interação entre Serviços, Publicação de Serviços e Composição de Serviços são relevantes e devem ser considerados e incorporados na elaboração da *Ref-mLearning*, visto que são utilizados e descritos em diversas outras arquiteturas de referências com foco na orientação a serviço.

Vale ressaltar que os demais conceitos também podem ser incorporados ao longo da definição da arquitetura, sendo relacionados diretamente com aspectos de Auditoria e Níveis de Serviços.

5.2.3 Arquiteturas de Referência para o Domínio Educacional

A análise de arquiteturas de referência como fonte de informação é relevante para a proposta da *Ref-mLearning*, pois pelas suas representações e descrições é possível identificar conceitos-chaves relacionados às práticas educacionais como, por exemplo, comunicação, adaptação, autoria, avaliação, entre outros.

Na iniciativa MoLe. (2012), é possível observar a proposta de uma arquitetura de referência segmentada em componentes e camada, específicos para comportar as práticas das atividades da aprendizagem móvel. A Figura 25 mostra a visão geral destes componentes que agregam a arquitetura para uma solução de aprendizagem móvel.

O aspecto principal da arquitetura, que dá apoio a toda infraestrutura, é o servidor da aplicação *m-Learning Services*, baseado em serviços educacionais móveis. A arquitetura geral é composta por um portal web e uma série de serviços REST[2] que pode atuar como um repositório de conteúdo e rastreamento de dados. É possível exemplificar alguns destes serviços, cujo conteúdo permite maior integração entre os ambientes educacionais, são eles: autenticação de usuários, controle de sincronização de dados, emissão de relatórios, entre outros.

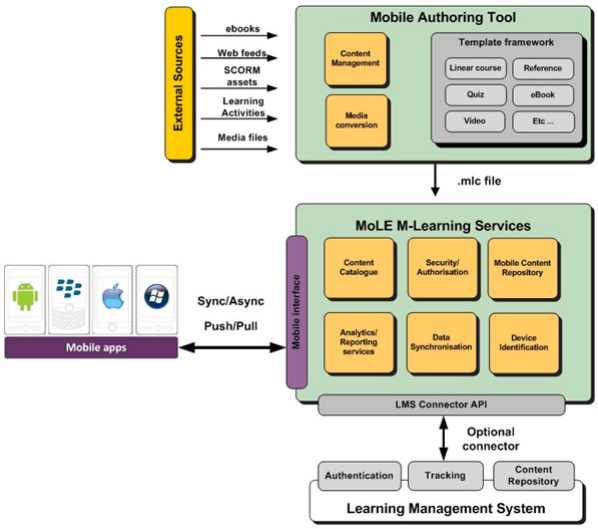
A arquitetura não foi projetada para suportar integração somente via serviços; ela possibilita uma comunicação via API (*Application Programming Interface*) flexível, possuindo pontos de extensão facilmente integrados com outros ambientes educacionais.

Além dos serviços básicos relacionados à integração e serviços móveis, a arquitetura possui um módulo "*Mobile Authoring Tool*, possibilitando que o professor possa elaborar material

[2] Representational state transfer (REST): é um estilo para se projetar aplicativos fracamente acoplados.

didático e compartilhá-lo de forma móvel. Toda esta autoria leva em conta considerações de usabilidade de dispositivos móveis, incorporando limites de *string* por página, número de figuras, dimensões específicas, para que sua utilização possa ficar o mais independente em relação a tipos diferentes de dispositivos móveis. Algumas das principais funcionalidades proporcionadas por este módulo: criação de tarefas; criação de avaliações automáticas; criação de *quiz* e questionários; criação de material didático padronizado; criação de exercícios, provas e simulados; e criação de avaliação online.

Figura 25 – Arquitetura de referência segmentada em componentes e camada.



Fonte: MoLe. (2012).

Em outro projeto da Consortium (2003), foi proposta uma arquitetura de referência educacional focada na orientação a serviços. Tal arquitetura apresenta diretrizes em relação à integração e representação das práticas educacionais, porém, não incorpora aspectos ubíquos e de mobilidade. A arquitetura foi representada por meio da definição de quatro camadas (Figura 26).

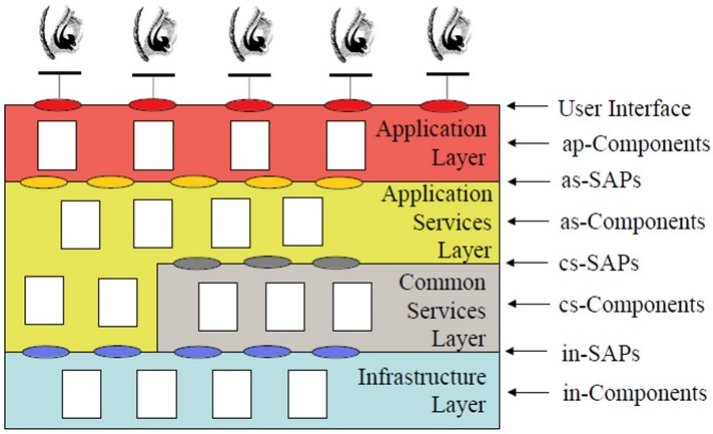
- Camada de aplicação: representa a entidade (do sistema) que apresentará todos os serviços de aplicações disponíveis para o usuário, ou seja, em outras palavras irá gerenciar a interface do usuário;

- Camada de serviços de aplicação: fornece um conjunto de serviços necessários paras as práticas educacionais. Um serviço de aplicação pode fazer uso de um ou mais serviços comuns;

- Camada de serviços comuns: representa um conjunto de serviços que estão disponíveis para os serviços de aplicação. Os serviços comuns podem usar outros serviços comuns, portanto, um serviço comum é acessível a qualquer outro serviço da aplicação;

- Camada de infra-estrutura: proporciona a transação e comunicações entre a camada de serviços de aplicação em relação com a camada de serviços comuns.

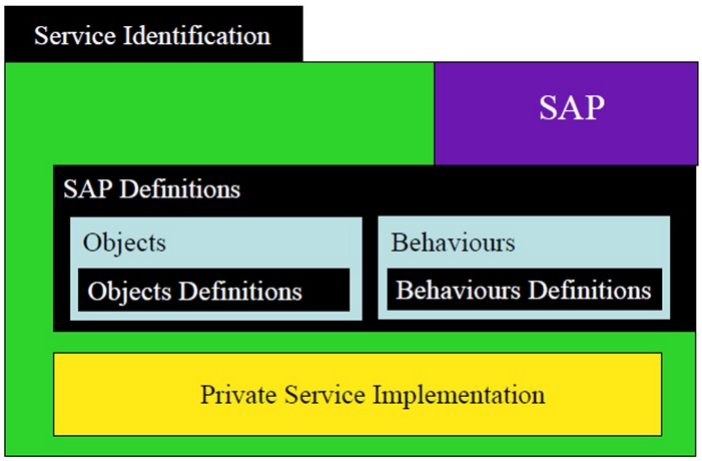
Figura 26 – Arquitetura de referência para ambientes educacionais.



Fonte: Consortium (2003).

A comunicação e acesso aos serviços é realizado por meio de pontos de acesso (*Service Access Point-SAP*). Cada serviço tem um único SAP e os componentes poderiam suportar um ou mais SAPs (em uma representação orientada a objeto, um SAP poderia ser apoiado por um ou mais métodos de uma classe específica a definição dos serviços). Para garantir uma arquitetura orientada a serviços, esta iniciativa utilizou a adoção de abstração de serviços para descrever funcionalidade educacionais. Pela Figura 27, é possível observar a representação dos serviços incorporados na arquitetura:

Figura 27 – Representação abstrata dos serviços educacionais.



Fonte: Consortium (2003).

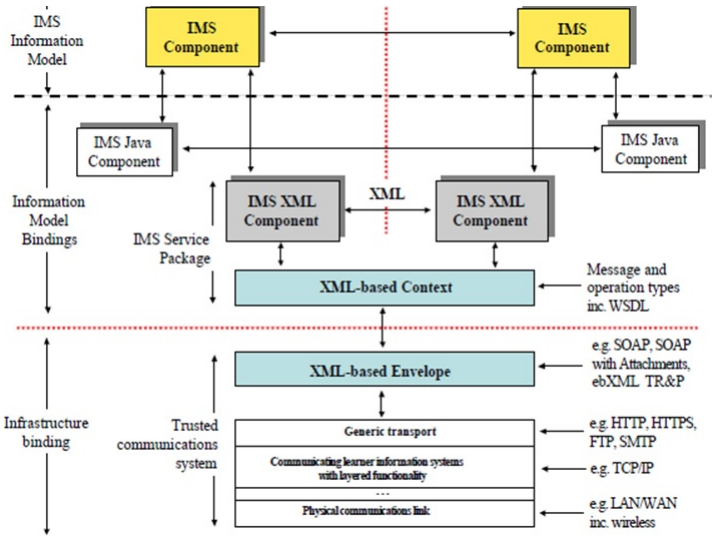
A partir da Figura 27 é possível notar que cada serviço tem um ponto de acesso de serviço (SAP) definido. Cada serviço tem apenas um SAP. O SAP é definido em termos de seus objetos

e comportamentos. De modo geral, o SAP pode consistir um ou mais objetos, sendo que cada objeto possui uma operação relacionada as práticas educacionais. Cada objeto é definido por meio de uma classe, possuindo um conjunto de atributos e operações. As operações descrevem a forma como o estado dos atributos podem ser alteradas.

A proposta também representa aspectos técnicos específicos para a interoperabilidade e troca de dados. Esta representação foi feita por meio da definição de um modelo de dados da informação (Figura 28), utilizando XML para efetuar as trocas de mensagens. Os principais componentes são:

- *XML-based Context*: os componentes do sistema e suas mensagens são mapeados em uma infra estrutura de mensagens XML que é projetado para apoiar os serviços compartilhados;
- *XML-based Context*: o sistema de mensagens XML pode ser suportado usando vários tipos de XML, encapsulando SOAP, entre outros protocolos;
- *Generic transport*: o envelope é transportado através da rede utilizando protocolo apropriado, exemplo: SMTP, FTP, HTTP;
- *Communications network*: camada de rede utilizada para transportar os dados fisicamente de um sistema para outro, baseado particularmente no protocolo TCP/IP.

Figura 28 – Aspectos tecnológicos para a realização de trocas de mensagens.



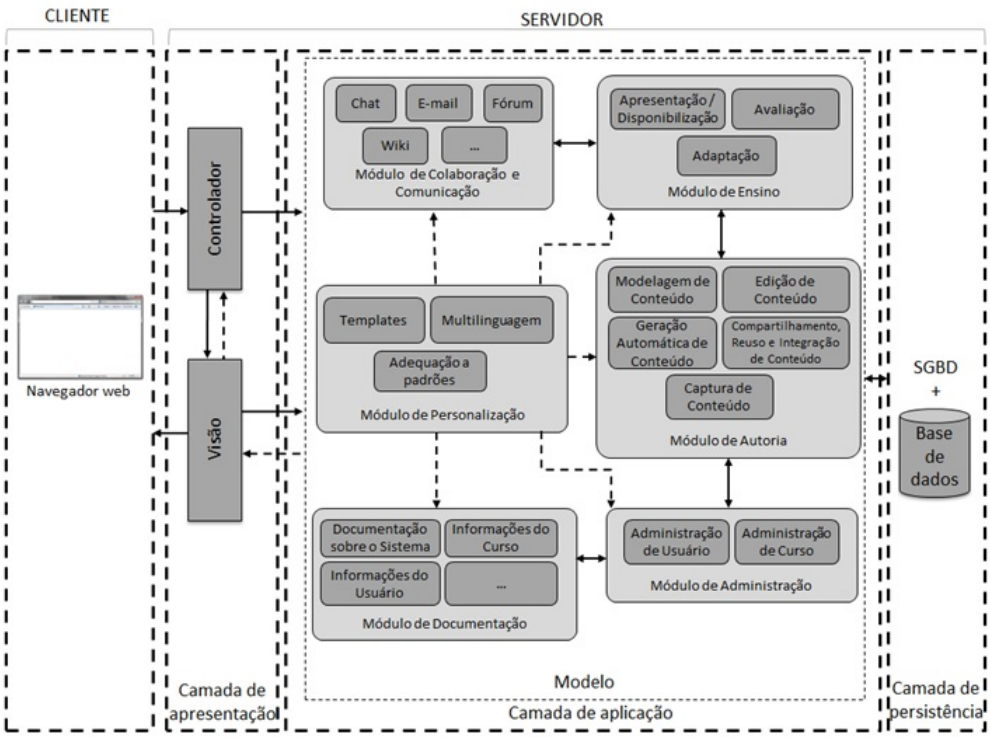
Fonte: Consortium (2003).

Ressalta-se ainda que este projeto define um conjunto de serviços educacionais (*Application Services Layer*) úteis para flexibilizar e apoiar as práticas educacionais, sendo elas: (1) serviços de administração do curso e dos usuários; (2) serviços de autoria; (3) avaliação e comunicação; (4) disponibilização de conteúdo didático; (5) personalização; e (6) documentação do curso e do sistema. O estudo e identificação destes serviços como forma de conceitos ao

domínio de sistemas educacionais é relevante para a proposta e elaboração de novas arquiteturas de referência.

Em outra abordagem, tendo uma preocupação voltada para aspectos educacionais, Fioravanti, Nakagawa e Barbosa (2010) analisaram características e funcionalidades para ambientes de ensino e aprendizagem, propondo a EducAR (uma arquitetura de referência para ambientes educacionais). A Figura 29 ilustra a estrutura geral da EducAR.

Figura 29 – EDUCAR - Estrutura Geral.



Fonte: Fioravanti, Nakagawa e Barbosa (2010).

O lado do cliente e as camadas de apresentação e de persistência no lado do servidor são análogos a outros sistemas web, independentemente do domínio de aplicação. Já na camada de aplicação estão representados os módulos específicos do domínio educacional. O módulo de Autoria, por exemplo, é um dos núcleos da EducAR, sendo responsável pela elaboração dos conteúdos didáticos. São abordadas neste módulo questões referentes à: (1) estruturação e modelagem de conteúdo; (2) edição; (3) geração automática; (4) compartilhamento, reúso e integração de conteúdo; e (5) captura de conteúdo. Este se comunica com o módulo de Ensino, permitindo que o conteúdo gerado seja disponibilizado aos aprendizes, e com o módulo de Administração, do qual são obtidas informações sobre níveis de acesso para determinar, por exemplo, se um dado usuário pode ou não criar conteúdo naquele curso.

A partir dos resultados obtidos com a proposta da EducAR é possível determinar e analisar diversas funcionalidades específicas de ambientes educacionais, que podem e devem ser incorporadas em ambientes de aprendizagem móvel. Também é possível analisar e distinguir

características fundamentais daquelas relacionadas às atividades de apoio e as atividades organizacionais, facilitando a manutenção e desenvolvimento de novas funcionalidades em relação a este domínio de software.

Na perspectiva de Masud e Huang (2012), os autores definiram um conjunto de características para *e-Learning* em conjunto com os conceitos e aplicação do *cloud computing*, combinando características de interoperabilidade, disponibilidade, escalabilidade, e aspectos educacionais. Esta integração foi realizada por meio de uma exploração na literatura científica, tendo como objetivo a definição de uma arquitetura, juntamente com um método de construção e interfaces predefinidas.

Ao longo do trabalho é destacado que o *cloud computing* surgiu recentemente como um paradigma flexível principalmente em relação a entrega de serviços por meio pela internet. O crescimento do *cloud computing* está mudando a forma de construir e aplicar sistemas computacionais, garantindo maior interoperabilidade e reúso nas aplicações. Independente do contexto de aplicação do software final, é possível fazer proveito das vantagens do *cloud computing*, inclusive no contexto da aprendizagem virtual, facilitando o gerenciamento e utilização de serviços educacionais. O *cloud computing* aplicado ao contexto educacional pode trazer diversos benefícios principalmente em relação a flexibilização de utilização (estando disponível em qualquer lugar, mediante o acesso à internet), flexibilidades em custos, manutenção e aumentando o alcance de acesso tanto por partes de alunos quanto de professores, diminuindo problemas de barreiras geográficas e físicas.

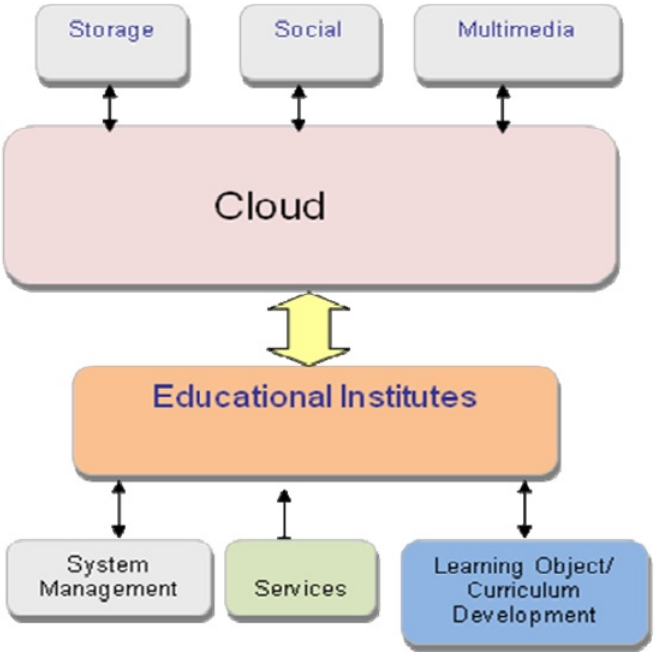
Os autores definiram uma arquitetura de alto nível no contexto de cloud computing (Figura 30) para ser utilizada no desenvolvimento de sistemas educacional para o ensino superior, possibilitando o reúso de serviços.

A arquitetura utiliza-se da experiência de sistemas e padrões arquiteturais relacionados a aplicações Web, SOA e ambientes educacionais. Ressalta-se que os autores definiram a arquitetura, conceitos e seus relacionamentos por meio de outros trabalhos relacionados, tentando sintetizar as boas práticas em relação a *cloud computing* e sistema de *e-learning*.

A investigação de arquiteturas de referência para o domínio educacional é de grande importância ao presente trabalho. Nesta seção, por meio das análises efetuadas foram identificados conceitos-chaves. Os conceitos representam funcionalidades básicas que devem existir em relação a sistemas de aprendizagem, garantindo eficiência às práticas educacionais. A proposta da *Ref-mLearning* leva em consideração os seguintes conceitos, ligados diretamente às práticas educacionais:

- Adequação a Padrões de Ensino (Masud e Huang (2012), Fioravanti, Nakagawa e Barbosa (2010)): deve garantir adequação a diferentes padrões educacionais, facilitando a interoperabilidade e reuso das informações educacionais;

Figura 30 – Arquitetura de *e-learning* baseado nos princípios do *cloud computing*.



Fonte: Masud e Huang (2012).

- Gerenciamento de usuários (Fioravanti, Nakagawa e Barbosa (2010), Masud e Huang (2012)): tendo um grande número de usuários, o ambiente deve possuir um gerenciamento de usuários em relação as suas atividades, dados, perfis, permissões, entre outros fatores;

- Administração do curso (Fioravanti, Nakagawa e Barbosa (2010)): permite o gerenciamento do curso por um gerente/professor, provendo dados específicos ao andamento e continuado do curso/disciplina;

- Autoria (Consortium (2003), Fioravanti, Nakagawa e Barbosa (2010), Masud e Huang (2012)): permite a criação e edição de arquivos digitais em diferentes mídias (texto, imagem, som, entre outros) pelo próprio ambiente educacional;

- Avaliação (Consortium (2003), Masud e Huang (2012)): utilizada de forma automática ou semi-automática como um instrumento de continua progressão dos aprendizes;

- Documentação do curso e do Sistema(Consortium (2003), Fioravanti, Nakagawa e Barbosa (2010)): facilita o acesso e o uso da informação no ambiente educacional, descrevendo aspectos organizacionais e gerenciais;

- Comunicação (Consortium (2003), Masud e Huang (2012)): permite um maior contato e colaboração entres aprendizes, professores e tutores por meio de diversas ferramentas de comunicação;

- Personalização (Masud e Huang (2012), Fioravanti, Nakagawa e Barbosa (2010), Consortium (2003)): adéqua características visuais e de organização e um determinado perfil de usuário do ambiente;

- Reúso e Interoperabilidade (Masud e Huang (2012), Consortium (2003)): a diversidade de sistemas operacionais e navegadores de acesso cria uma necessidade de portabilidade frente ao ambiente educacional, juntamente com a possibilidade de reúso de informações e materiais didáticos entre outros ambientes e sistemas educacionais;

- Disponibilização dos conteúdos didáticos(Masud e Huang (2012), Consortium (2003), Fioravanti, Nakagawa e Barbosa (2010)): a continuidade e a disponibilização das informações são de extrema importância, principalmente em questão à flexibilização de acesso e utilização do ambiente educacional.

5.3 Estabelecimento dos Requisitos Arquiteturais

Nesta etapa, as características identificadas pela etapa anterior de "Investigação das fontes de informação", juntamente com as características do catálogo de requisitos (Capítulo 4), foram analisadas e mapeadas em requisitos arquiteturais. O mapeamento foi realizado com base teórica, fundamentando-se principalmente nas características encontradas nos trabalhos estudados/analisados em relação aos grupos de informação. Os requisitos arquiteturais são a base para a proposta da *Ref-mLearning*, proporcionando uma validação teórica em relação às principais *features* (NAKAGAWA; SASAKI; MALDONADO, 2009).

A *Ref-mLearning* aborda três domínios específicos: educacional, móvel e SOA. Para isso, os requisitos arquiteturais foram identificados e decompostos em três grupos distintos de requisitos: (1) requisitos arquiteturais, para sistemas de aprendizagem genéricos; (2) requisitos arquiteturais, específicos para o domínio da aprendizagem móvel; e (3) requisitos específicos para aspectos da SOA. Os requisitos arquiteturais definidos e identificados contribuíram para a proposta da *Ref-mLearning*, constituindo as diversas visões da arquitetura.

5.3.1 Requisitos Arquiteturais para o Domínio de Aprendizagem Móvel

Os requisitos arquiteturais para o domínio da aprendizagem móvel apresentados nesta seção foram obtidos por meio da análise e investigação das fontes de informação apresentadas na Seção 5.2.1, especificamente pelo Grupo 1. A seguir, são listados 12 **R**equisitos **A**rquiteturais específicos ao domínio da **A**prendizagem **M**óvel (RA-AM), utilizados para a elaboração da *Ref-mLearning*.

RA-AM [1] - A arquitetura de referência deve apoiar/viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem que **possibilitem comunicação síncrona e assíncrona** entre aprendizes/tutores/professores/sistema;

RA-AM [2] - A arquitetura de referência deve apoiar/viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem que **gerenciem a adaptação de contexto** dos seus usuários;

RA-AM [3] - A arquitetura de referência deve apoiar/viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem que **permitam a colaboração entres os seus usuários**, por meio de *wikis, fóruns, microblogs*, entre outras ferramentas.

RA-AM [4] - A arquitetura deve possibilitar o **gerenciamento em relação a utilização de recursos**, permitindo que o ambiente utilize tipos apropriados de recursos em relação a dispositivos móveis, principalmente pela largura de banda e memória consumida;

RA-AM [5] - A arquitetura deve apoiar **mecanismos para um consumo de energia eficientes**. Garantindo técnicas de conservação de energia para dispositivos móveis, poupando energia quando nenhuma atividade estiver sendo executada, garantindo maior autonomia de energia ao longo da aprendizagem;

RA-AM [6] - A arquitetura deve apoiar o **conhecimento *just-in-time***, permitindo que o conhecimento do material didático possa ser levado e representado a qualquer lugar, garantindo autenticidade em suas atividades independentemente da sua localização;

RA-AM [7] - A arquitetura deve garantir uma **usabilidade adaptada para dispositivos móveis**, suportando diferentes linguagens de comunicação e cognição (exemplo: ampliação da tela/zoom, rotação da tela, customização de cores e brilho);

RA-AM [8] - A arquitetura deve permitir a **atualização e configuração** de um ambiente de aprendizagem móvel de forma simples e automática, evitando erros por parte dos usuários;

RA-AM [9] - A arquitetura deve permitir que o ambiente de aprendizagem possa **sincronizar e coordenar as suas informações** com outros dispositivos móveis, permitindo aos usuários independência sobre estes dispositivos;

RA-AM [10] - A arquitetura deve permitir que o ambiente seja **portável/responsivo em relação a dispositivos móveis**, sem necessidade de aplicação de outras ações, configurações e ajustes;

RA-AM [11] - A arquitetura deve permitir que o ambiente educacional proporcione funcionalidades para **melhorar a interação social** entre os usuários;

RA-AM [12] - A arquitetura deve apoiar o desenvolvimento de ambientes educacionais que possuam uma **conectividade eficiente**, possibilitando a troca de informações independentes de aspectos físicos e temporais.

A Tabela 9 mostra o relacionamento entre os requisitos arquiteturais e os conceitos-chaves

relacionados com domínio de aprendizagem móvel, Grupo 1 das fontes de informações.

Tabela 9 – Relacionamento entre requisitos arquiteturais e conceitos chaves do domínio de aprendizagem móvel.

Conceito Chave	Requisitos
Portabilidade	RA-AM: 4, 5,7, 10
Interatividade/Motivação	RA-AM: 1, 3, 6, 7, 11
Colaboração	RA-AM: 1, 3, 11
Conectividade	RA-AM: 4, 5, 8, 12
Sincronismo	RA-AM: 1, 3, 8, 9
Adaptação ao Contexto	RA-AM: 2, 4, 6, 11

Fonte: Elaborada pelo autor.

5.3.2 Requisitos Arquiteturais para o Domínio de Serviços

Os requisitos arquiteturais referentes ao domínio de sistemas orientados a serviços foram obtidos com base nas funcionalidades e conceitos identificados na análise do Grupo 2, Seção 5.2.2. A seguir, são listados os 12 **R**equisitos **A**rquiteturais específicos à **S**OA (RA-S) utilizados para a elaboração da *Ref-mLearning*.

RA-S [1] - A arquitetura de referência deve **prover mecanismos para a captura, monitoramento, registro e sinalização** do não cumprimento de requisitos de qualidade estabelecidos entre os serviços provedores e serviços clientes;

RA-S [2] - A arquitetura de referência deve viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel **escaláveis, capazes de evoluir de maneira incremental**, por meio da incorporação de novos serviços;

RA-S [3] - A arquitetura de referência deve possibilitar que serviços educacionais possam ser **tratados de forma uniforme**, ou seja, possam ser publicados, localizados e utilizados da mesma forma;

RA-S [4] - A arquitetura de referência deve prover mecanismos para que ambientes de aprendizagem móvel orientados a serviços **possam ser compostos por processos de negócios** ou utilizados por aplicações cliente;

RA-S [5] - A arquitetura de referência deve viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel que **disponibilizem informações sobre suas características e direções normativas de uso**, por meio de descrições padronizadas;

RA-S [6] - A arquitetura de referência deve possibilitar que ferramentas educacionais **implementadas em deferentes linguagens de programação e sob plataformas distintas** possam ser facilmente integradas;

RA-S [7] - A arquitetura de referência deve prover mecanismos para que objetos educacionais na forma de serviços **possam ser publicados e posteriormente descobertos** por aplicações clientes;

RA-S [8] - A arquitetura de referência deve possibilitar que os serviços educacionais **possam interagir diretamente ou por meio do uso de barramento de serviços**;

RA-S [9] - A arquitetura de referência deve viabilizar o desenvolvimento ambientes de aprendizagem móvel que **disponibilizem descrições semânticas**[3], permitindo assim sua classificação nos repositórios de serviço. As descrições semânticas são importantes principalmente para descreverem formalmente as instruções e dados dos serviços providos pelo ambiente educacional;

RA-S [10] - A arquitetura de referência deve viabilizar o desenvolvimento de ambientes educacionais que **tenham à disposição informações e documentos relacionados às suas características de qualidade**;

RA-S [11] - A arquitetura de referência deve possibilitar que o ambientes de aprendizagem móvel **possam se comunicar com outras ferramentas educacionais**;

RA-S [12] - A arquitetura de referência deve **possibilitar sua instanciação parcial**, ou seja, ambientes educacionais desenvolvidos a partir dessa arquitetura podem ser construídos sem a necessidade de implementação de todos os módulos propostos.

A Tabela 10 descreve o relacionamento entre os requisitos arquiteturais e conceitos chaves relacionados a SOA identificados no Grupo 2 das fontes de informações.

Tabela 10 – Relacionamento entre os requisitos arquiteturais e conceitos chaves de SOA.

Conceito Chave	Requisitos
Descrição de Serviços	RA-S: 3, 5, 9, 10
Publicação de Serviços	RA -S: 1, 3, 9
Integração de Serviços	RA -S: 3, 8, 11
Composição de Serviços	RA -S: 2, 3, 4
Governança/Políticas	RA -S: 6, 7, 12
Qualidade de Serviço	RA -S: 1, 10

Fonte: Elaborada pelo autor.

[3] Descreve o significado das expressões, das instruções e das unidades de programas (SCOTT, 2000).

5.3.3 Requisitos Arquiteturais para Sistemas de Aprendizagem Genéricos

Os requisitos arquiteturais para sistemas de aprendizagem genéricos apresentados nesta seção foram obtidos por meio da análise e investigação das fontes de informação apresentadas na Seção 5.2.3, especificamente pelo Grupo 3. A seguir, são listados 15 **R**equisitos **A**rquiteturais para **S**istemas de **A**prendizagem genéricos (RA-SA) utilizados para a elaboração da *Ref-mLearning*.

RA-SA [1] - A arquitetura de referência deve apoiar/viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem que **disponibilizem informações sobre o curso**;

RA-SA [2] - A arquitetura de referência deve apoiar/viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem que **disponibilizem informações sobre o ambiente**;

RA- SA [3] - A arquitetura de referência deve apoiar/viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem que **permitam a adaptação/personalização** de conteúdos didáticos;

RA- SA [4] - A arquitetura de referência deve apoiar/viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem que **automatizem o processo de avaliação**;

RA- SA [5] - A arquitetura de referência deve apoiar/viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem que **permitam a autoria de conteúdos didáticos**;

RA- SA [6] - A arquitetura de referência deve apoiar/viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem que **forneçam segurança** a sua utilização;

RA- SA [7] - A arquitetura de referência deve apoiar/viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem que **possibilitem o gerenciamento de conteúdo** por parte dos professores, tutores e administradores.

RA- SA [8] - A arquitetura de referência deve apoiar/viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem que **permitam a avaliação dos aprendizes**, de modo formal ou informal;

RA- SA [9] - A arquitetura de referência deve apoiar/viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem que **possibilitem a disponibilização de material didático**, podendo utilizar diferentes mídia de interação;

RA- SA [10] - A arquitetura de referência deve apoiar/viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem que **forneça *feedback* de avaliação**, sendo realizada por score, relatórios, mensagens, entre outros;

RA- SA [11] - A arquitetura de referência deve apoiar/viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem que **forneçam apoio automatizado ao uso de *templates***;

RA- SA [12] - A arquitetura de referência deve apoiar/viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem que **forneçam apoio à multilinguagem**;

RA- SA [13] - A arquitetura de referência deve apoiar/viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem que **gerenciem os cursos cadastrados**, possibilitando a sua manutenção durante o seu ciclo de vida;

RA- SA [14] - A arquitetura de referência deve apoiar/viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem que **possuam gerenciamento de usuários**, com visões e perfis diferentes;

RA-SA [15] - A arquitetura de referência deve apoiar/viabilizar o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem que **permitam adequações a padrões educacionais**, relacionados à utilização de objetos de aprendizagem.

A Tabela 11 mostra o relacionamento entre os requisitos arquiteturais e os conceitos-chaves relacionados com sistemas de aprendizagem genéricos, Grupo 3 das fontes de informações.

Tabela 11 – Relacionamento entre requisitos arquiteturais e conceitos chaves de sistemas de aprendizagem genéricos.

Conceito Chave	Requisitos
Adequação à Padrões de Ensino	RA-SA: 1, 14
Gerenciamento de usuários	RA-SA: 2, 8, 12, 14, 15
Administração do curso	RA-SA: 6, 7, 14, 16, 17
Autoria	RA-SA: 9, 11
Avaliação	RA-SA: 3, 6, 18
Comunicação	RA-SA: 3, 6, 18
Personalização	RA-SA: 3, 6, 18

Fonte: Elaborada pelo autor.

5.4 Projeto da Arquitetura de Referência

Um ponto importante para garantir maior eficiência na troca de experiências e conhecimentos em relação a uma arquitetura de referência é a sua documentação. A arquitetura de referência não é dependente somente do seu domínio de aplicação e de seus conceitos, mas também de uma adequada representação e documentação. Para isso, tendo como base os resultados obtidos na Seção 5.3, esta seção analisa e discute o uso dos requisitos arquiteturais definidos na construção e documentação do projeto arquitetural da *Ref-mLearning*, representado em visões arquiteturais, facilitando a visualização e entendimento da arquitetura de referência proposta.

Seguindo o processo ProSA-RA (NAKAGAWA, 2006), quatro visões arquiteturais foram utilizadas para representar e documentar a *Ref-mLearning*: (1) Visão Geral; (2) Visão de Módulo; (3) Visão em Tempo de Execução; e (4) Visão de Implantação. Para a construção destas visões foram utilizadas técnicas da UML 2.2, sendo possível a representação de conceitos,

relacionamentos e comportamentos. A representação da *Ref-mLearning* por meio de visões arquiteturais é relevante para o entendimento e definição de um vocabulário comum, pois tais visões possibilitam representar de forma gráfica a estrutura e os relacionamentos entre os requisitos arquiteturais estabelecidos.

A seguir, todas as visões são apresentadas gráfica e textualmente, de modo a facilitar seu entendimento. Destaca-se que os conceitos representados nas visões arquiteturais podem ser implementados em diferentes linguagens de programação, sendo possível utilizar tecnologias distintas para a sua implementação.

5.4.1 Visão Geral

A Figura 31 mostra a visão geral da *Ref-mLearning*, a qual foi proposta com base nos requisitos arquiteturais e trabalhos relacionados definidos nas seções anteriores. De modo geral, nesta visão a camada de aplicação apresenta módulos específicos do domínio educacional, principalmente relacionados às atividades educacionais realizadas pelos aprendizes, professores e tutores. Além disso, são incorporados elementos relacionados a SOA, permitindo maior reúso e interoperabilidade. Os elementos descritos nesta visão podem ser implementados usando tecnologias e linguagens distintas, de acordo com as necessidades de implementação.

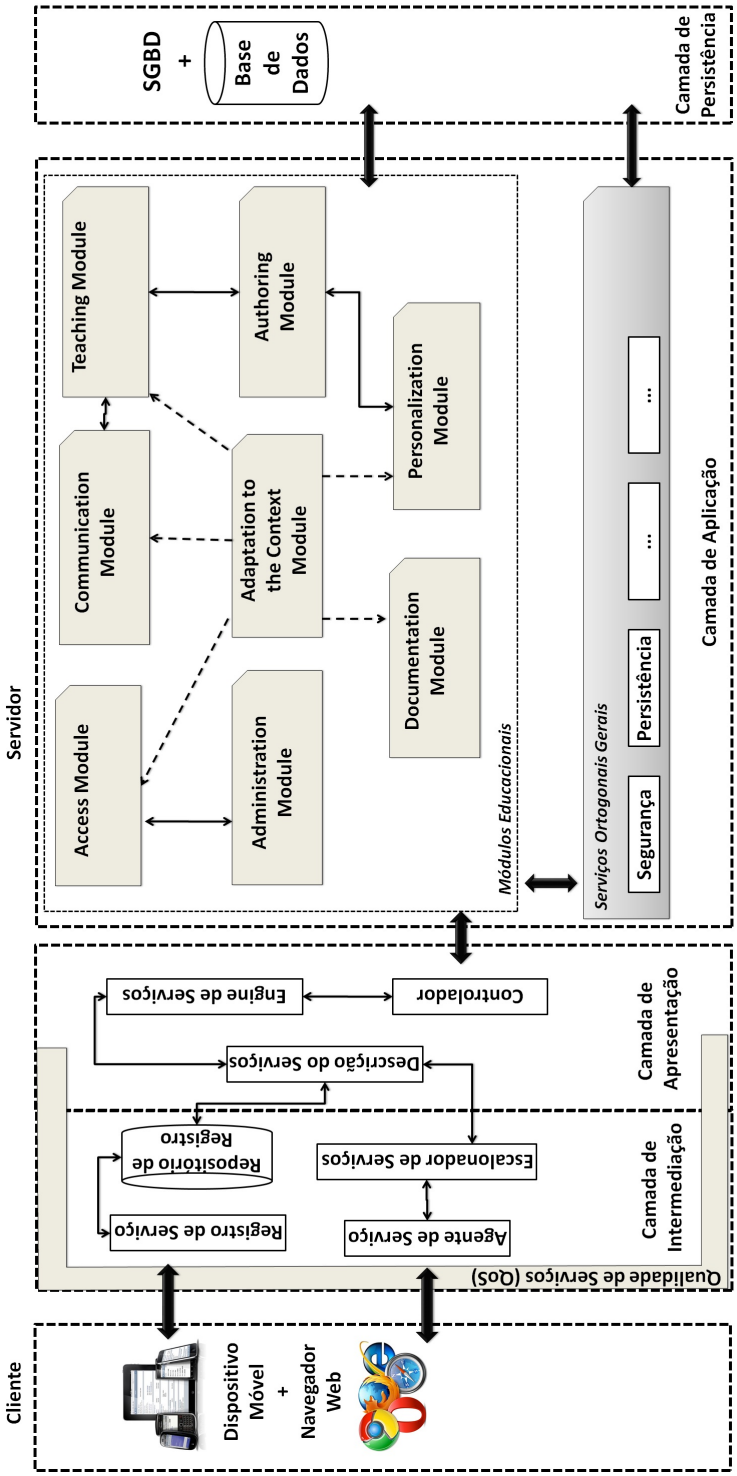
A visão geral está segmentada nas seguintes camadas: (1) Camada de Dados; (2) Camada de Apresentação; (3) Camada de Aplicação; (4) Camada de Qualidade de Serviços; (5) Camada de Visão; e (6) Camada da Intermediação de Serviços.

Camada de Dados (*persistence layer*): localizada no servidor de banco de dados, corresponde ao conjunto de dados que serão armazenados e recuperados para serem utilizados no ambiente educacional, possuindo a lógica de processamento de dados. A principal tarefa desta camada é receber as solicitações das informações a partir do servidor web, e em seguida, realizar funções de consulta, alterações e remoção dos dados no banco de dados. Para garantir mais integridade, um módulo de persistência também foi incorporado a esta camada.

- Módulo de Persistência: tem a função de gerenciar o banco de dados da aplicação, realizando consultas e armazenando informações educacionais pertinentes, garantindo integridade para as informações dos usuários. Para que os dados possam ser persistidos na base de dados, Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) podem ser utilizados, sendo complementados com a utilização de *frameworks* que facilitam o mapeamento dos atributos entre as bases tradicionais de dados relacionais e o modelo de objetos de uma aplicação, podendo ser utilizados para facilitar a manipulação e recuperação dos dados.

Camada de Apresentação (*presentation layer*): é uma camada do lado do servidor, cuja principal tarefa é receber as solicitações de informações emitidas pelo cliente da aplicação e realizar a apresentação visual das informações sobre atividades educacionais. Deve analisar os

Figura 31 – Visão geral *Ref-mLearning*.



Fonte: Elaborada pelo autor.

dados originais e transferi-los para solicitar o estilo apropriado da informação (por exemplo, em XML). Ao final, esta camada deve enviar as informações no estilo apropriado de dados para o servidor da aplicação, transferindo novamente para o cliente requisitante da informação. Pelo fato da *Ref-mLearning* ser destinada ao contexto de sistemas SOA, para que esta camada possua

maior interoperabilidade e reúso, três módulos foram incorporados, sendo eles:

- Descritor de Serviços: define os tipos de dados utilizados na requisição de funcionalidades e também os tipos de dados retornados aos clientes após o processamento.
- Controlador de Requisições: é responsável por orquestrar a execução dos demais módulos para prover as funcionalidades oferecidas, garantindo sincronização dos serviços gerenciais e educacionais, os quais podem ser utilizados ao mesmo tempo por diversos aprendizes (modo colaborativo) ou até mesmo por tutores (modo supervisionado).
- *Engine de Serviços*: processa requisições de serviços, convertendo mensagens escritas em linguagens e protocolos padrão em tipos de dados utilizados pelas implementações localizadas na Camada de Aplicação.

Camada de Aplicação (*application layer*): esta camada contém elementos que agregam funcionalidades relacionadas com as principais funcionalidades de um ambiente de aprendizagem móvel. Também localizada no servidor da aplicação, sua tarefa é aceitar a solicitação de serviço de acordo com os documentos enviados. Pode-se considerar, por exemplo, um serviço de login, de relatório, de desempenho, de autoria, customização, entre outros. Todos os serviços definidos na camada de aplicação da *Ref-mLearning* devem ser desenvolvidos visando à modularidade e à coesão, para que possam ser utilizados em diferentes ambientes educacionais, aumentando o seu reúso. Para garantir eficiência às práticas educacionais, seis módulos foram definidos:

- Módulo de Acesso: tem a função de consultar a base de dados do ambiente em busca de informações, verificando se o mesmo pode ou não ter acesso àquele serviço, pois dependendo do contexto alguns serviços podem ser gratuitos ou pagos. No contexto dos ambientes educacionais, principalmente em relação à aprendizagem móvel, serviços de SMS, de localização, entre outros, tendem a serem pagos por meio de licenças de uso.
- Módulo de Ensino: responsável pela apresentação e disponibilização dos conteúdos didáticos elaborados e, ainda, pela avaliação dos aprendizes por meio da disponibilização e aplicação de exercícios, questionários, provas, entre outros. Também é tratada neste módulo a questão de adaptabilidade dos conteúdos. De acordo com parâmetros definidos, como objetivos, interesses e perfil de cada aprendiz, diferentes maneiras de estruturar e navegar por um mesmo conteúdo educacional pode ser estabelecido.
- Módulo de Autoria: um dos módulos principais desta arquitetura de referência, sendo responsável pelo apoio à elaboração dos conteúdos didáticos (materiais e avaliações). Em síntese, são abordadas neste módulo questões referentes à: (1) estruturação e modelagem de conteúdo, realizando a identificação e representações dos conceitos e seus relacionamentos; (2) edição de conteúdo, tendo como objetivo a criação de mídias (vídeos, imagens, som) e

documentos educacionais; (3) geração automática de conteúdo, facilitando a sua construção em um formato específico, principalmente em relação às dimensões de telas de um dispositivo móvel; (4) compartilhamento e integração de conteúdo, relacionado com o uso do ontologias, dicionários de termos, glossários, entre outros; e (5) captura de conteúdo, referente à captura e armazenamento de discussões e experiências dos professores, tutores e aprendizes obtidas ao longo dos cursos e das aulas.

- Módulo de Personalização: o módulo de personalização é classificado como um aspecto transversal, estando relacionado com os demais módulos da camada de aplicação. Basicamente, seu objetivo é estabelecer mecanismos para criação e uso de *templates*, suporte à multilinguagem e adequação a padrões (tais como IMS, SCORM, LOM, entre outros). As funcionalidades implementadas neste módulo afetam todos os demais (representado pelas linhas estereotipadas *«crosscuts»*), alterando o comportamento de modo a inserir funcionalidades relacionadas à personalização.

- Módulo de Documentação: responsável por fornecer mecanismos para a gerência e armazenamento de documentação sobre o ambiente (tais como ajuda *online* e FAQ do ambiente), informações do usuário e informações do curso (por exemplo, objetivos, plano de aula, cronograma, FAQ do curso, entre outros). A documentação (técnica ou educacional) oferecida aos usuários do ambiente deve ser construída de forma responsível, possibilitando ser adaptada e acessível em diferentes dispositivos móveis.

- Módulo de Administração: aborda todas as questões administrativas presentes em sistemas web gerais, com ênfase na administração de usuários e de cursos. Na administração de usuários são tratadas questões referentes à autenticação e estabelecimento de níveis de acesso bem como inclusão, exclusão e atualização de usuários. Também é abordada a geração de relatórios de desempenho, de participação e de frequência de usuários (no caso, aprendizes). Por fim, este módulo também realiza o gerenciamento do curso, tratando a inclusão, exclusão e estatísticas do curso.

- Módulo de Colaboração/Comunicação: este módulo estabelece o tipo de comunicação utilizada pelo ambiente educacional móvel. Por meio da utilização de um dispositivo móvel, a comunicação pode ser assíncrona ou síncrona. De modo geral, permite que os usuários do ambiente possam definir a forma de comunicação, sendo ela, por exemplo, via SMS, MMS, interface de fala ou apenas teclado. Isto é possível por meio da interoperabilidade entre os dispositivos móveis. Quando o dispositivo possuir incompatibilidades em algum tipo de comunicação, exceções devem ser lançadas e tratadas. Este módulo também reúne ferramentas síncronas e assíncronas que auxiliam a comunicação entre os aprendizes e tutores, tais como chat, *Web Conferences*, *e-mail*, mensagens, entre outros. O módulo agrega, ainda, ferramentas colaborativas, como *wikis*, grupos e fóruns.

- Módulo de Adaptação ao Contexto: ambientes de aprendizagem móvel devem ser capazes de detectar automaticamente as informações relacionadas com o contexto dos seus usuários (por exemplo, lugar, tempo, atividades e, em alguns casos, as condições físicas, entre outras). Este módulo é fundamental para a detecção e gravação atual da situação do aluno no ambiente de aprendizagem móvel. A ideia é proporcionar aos professores uma maior compreensão e conhecimento sobre as atividades e comportamentos dos aprendizes.

  Para esta camada, vale ressaltar os relacionamentos existentes entre os seus módulos. O módulo de Autoria comunica-se com o módulo de Ensino, de modo a permitir que o conteúdo gerado seja disponibilizado aos aprendizes, e com o módulo de Administração, do qual são obtidas informações sobre nível de acesso para determinar, por exemplo, se um dado usuário pode ou não criar conteúdo naquele curso. O módulo de Personalização comunica-se com todos os demais, uma vez que os requisitos nele agrupados podem ser aplicados em todas as ferramentas e mecanismos presentes nos outros módulos, possuindo um caráter transversal.

Camada de Qualidade de Serviços (QoS): um ambiente de aprendizagem móvel consiste em uma agregação de diferentes tipos de recursos que deve se adaptar às necessidades dos aprendizes em relação ao seu contexto atual. Para flexibilizar esta dinamicidade, é útil a utilização da orientação como serviços. Todo serviço (gerencial ou educacional), sendo ele consumido ou produzido, precisa estar de acordo com requisitos de qualidade. A garantia da qualidade dos serviços, no contexto da aprendizagem móvel, evita prejudicar o desempenho e utilização das atividades educacionais por parte dos usuários dos ambientes. Neste contexto, esta camada (QoS) tem por objetivo analisar e averiguar o cumprimento dos requisitos de qualidade estipulados nas demais camadas de serviços. Esta camada integra diretamente a (1) camada de intermediação e (2) parte da camada de apresentação - descrição dos serviços. A camada de qualidade de serviços passa a capturar, monitorar e registrar as não conformidades que por ventura possam ocorrer ao longo do consumo dos serviços educacionais, prejudicando a utilização do ambiente educacional e das atividades educacionais.

Camada da Intermediação de Serviços: a camada de intermediação tem um papel importante no controle e organização dos serviços educacionais, possibilitando que os demais serviços sejam descobertos, associados e disponibilizados de uma forma eficiente ao ambiente educacional. Esta camada é constituída por três elementos principais, sendo eles: (1) o registrador de serviços; (2) o mediador; e (3) o escalonador.

- Registrador de serviços: um dos aspectos importantes de um sistema de serviços são os recursos para gerir o ciclo de vida de serviços, que prevê o gerenciamento de diferentes níveis de operação. Outro aspecto relevante é a definição de atributos juntamente com o registro de serviços, que permite o mapeamento dos serviços disponíveis, facilitando a monitoração dos serviços presentes, assim como o gerenciamento centralizado de suas

exceções. Umas das formas de se realizar o registro de serviços é a utilização de *brokers* ou *matchmakers* (DILLON; WU; CHANG, 2007).

- Mediador de serviços: o mediador de serviços intercepta e modifica mensagens transmitidas entre serviços existentes (provedores) e clientes (solicitantes) que desejam utilizar estes serviços. De modo geral, o mediador representa um arcabouço de roteamento e transporte de requisições entre os serviços clientes e seus provedores. Os serviços de mediação são implementados utilizando módulos de mediação que contêm fluxos de mediação, sendo materializados, por exemplo, pela implementação de um ESB (*Enterprise Service Bus*). Um dos principais aspectos do barramento de serviços é a padronização das interfaces de consumo por meio de um ponto único de acesso.

- Escalonador de serviços: este elemento visa gerenciar as requisições dos serviços realizadas pelos clientes, verificando as dependências descritas por uma linguagem descritiva, por exemplo, o XML. Quando se deseja realizar requisições para serviços simples, políticas de uso simples podem ser implementadas e aplicadas na prática. Porém, quando o serviço solicitado é um serviço composto com diversas dependências, requisitos de interoperabilidade entre as partes e suas políticas de uso devem ser analisados e atribuídos ao escalonador.

5.4.2 Visão de Módulos

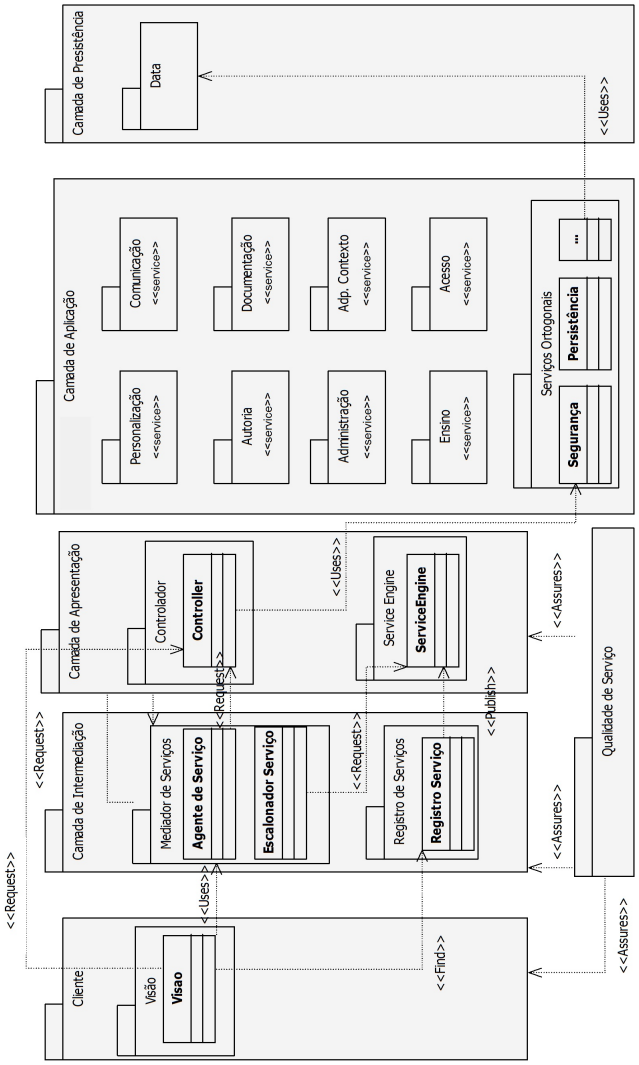
A visão de módulos é importante para a representação de uma arquitetura de referência, definindo a estrutura do sistema em termos de módulos e seus relacionamentos. Cada módulo é representado por um pacote e os sub-módulos por sub-pacotes, os quais ainda podem ser refinados em classes e interfaces que mostram o que cada sub-módulo contém em termos de funcionalidades. De modo geral, a visão de módulo é uma visão relevante, pois representa a "planta estrutural" para a construção do sistema (NAKAGAWA, 2006). A visão de módulos da *Ref-mLearning*, descrita em UML, é ilustrada pela Figura 32.

Na *Ref-mLearning*, oito conjuntos de serviços relacionados com atividades educacionais são propostos: serviços com foco no acesso ao ambiente, administração geral do ambiente, serviços com foco em atividades de ensino, serviços de personalização de seus usuários, serviços relacionados a documentação, serviços relacionados com formas de comunicação, serviços com foco na autoria educacional, e por fim, serviços que proporcionem adaptação ao contexto dos usuários do ambiente.

O pacote de serviços de acesso, representa maneiras diversificadas com que o usuário pode fazer o *login* e gerenciamento de cadastro, via redes sociais, via contas da própria instituição de ensino, recuperação de senha e chaves de acesso, entre outras funcionalidades.

O pacote de serviços relacionados com administração do ambiente fica praticamente encapsulado ao uso de seus usuários, garantindo maior aplicação para o gestor ou diretor que

Figura 32 – Visão de módulos da *Ref-mLearning*.



Fonte: Elaborada pelo autor.

estará utilizando o ambiente, possibilitando o acesso a dados estatísticos, relatórios, entro outros aspectos da administração geral.

O contexto do pacote de serviços de ensino está sendo representado por uma variedade de funcionalidades educacionais, podendo ser utilizados para a implementação de *quizz* de avaliações, testes, quadro de notas, microblogs, entre outros serviços que vão possibilitar maior flexibilidade e efetividade ao ensino virtual.

Os pacotes de personalização e adaptação ao contexto podem apresentar serviços compatíveis entre si, possibilitando uma maior adaptação aos seus usuários em relação ao uso, execução de atividades, local de acesso, preferências, entre outros aspectos de utilização do ambiente educacional.

O pacote de serviços de comunicação está atrelado principalmente aos serviços de tele-

fonia móvel, possibilitando uma integração de mensagens e avisos para o uso dos dispositivos móveis. É importante destacar que esses serviços devem estar relacionados também com funcionalidades básicas/tradicionais de comunicação, como, por exemplo: e-mail, mensagens de texto, entre outras formas de comunicação.

O pacote de serviços de documentação está relacionando principalmente com a parte de documentação interna das atividades do ambiente educacional, sendo focado nos *logs*, registro e atividades dos usuários.

No pacote de autoria estão incorporados serviços que ajudem ou automatizem a produção de material didático e atividades educacionais, lembrando que estes serviços devem auxiliar a autoria educacional móvel, diferente da autoria educacional tradicional, levando em consideração aspectos de diferentes dispositivos móveis.

Cada um desses serviços deve ser implementado de maneira independente, visando facilitar a composição de um ambiente de aprendizagem móvel mais completo, possibilitando o consumo e reúso dos serviços.

Em complementação, os serviços dentro do conjunto de serviços ortogonais são destinados a funcionalidades de apoio ao ambiente. Tais serviços podem ser relacionados à persistência, segurança, responsividade móvel, entre outros aspectos. Esses serviços podem ser invocados ao longo de todo o ciclo de uso do ambiente educacional móvel, apoiando o funcionamento correto do ambiente.

Além disso, os outros conjuntos de serviços (escalonador de serviços, agente de serviços, registro do serviços e qualidade dos serviços) possibilitam interações e o gerenciamento entre os diversos serviços do ambiente.

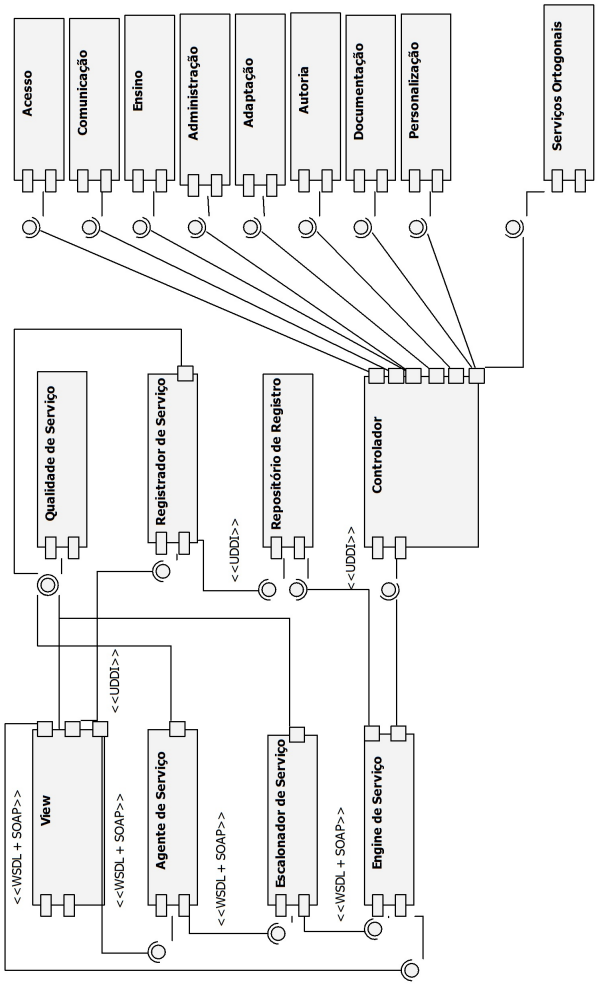
Visto que a *Ref-mLearning* é baseada no estilo arquitetural SOA, os pacotes incorporados na visão de módulos podem estar localizados de modo distribuído, podendo assim, pertencer a diferentes instituições. Por isso, as notações de uso podem ser implementadas por meio de chamadas remotas (para serviços em outros servidores) ou até mesmo de modo local.

5.4.3 Visão em Tempo de Execução

A visão em tempo de execução apresenta a estrutura de execução do ambiente educacional móvel por meio de representações de componentes em diferentes níveis de abstração, interfaces providas e requeridas, fluxo de dados, base de dados, entre outros elementos.

No contexto da *Ref-mLearning*, a visão em tempo de execução foi representada contendo aspectos de tecnologias e protocolos, relacionados principalmente com *Web Services*, para ilustrar e facilitar o entendimento da arquitetura. Porém, ressalta-se que a arquitetura é independente de tecnologias de implementação, podendo ser implementada ou instanciada utilizando diferentes tecnologias e protocolos. A Figura 33 apresenta a visão em tempo de execução da *Ref-mLearning*.

Figura 33 – Visão em tempo de execução da *Ref-mLearning*.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O servidor cliente (componente *client*), não conhecendo a localização dos serviços os quais irá utilizar ao longo da execução e utilização do ambiente de aprendizagem, pode primeiramente realizar uma pesquisa em um registro de serviços (*service registry*). Para isso é necessário utilizar um protocolo padrão, exemplificado na *Ref-mLearning* pela utilização do protocolo UDDI. Se o serviço for encontrado na base de dados, o registro retornará ao consumidor informado o seu endereço, para o que o mesmo possa ser acessado e ambos possam se comunicar.

Se a conexão for estabelecida corretamente, o serviço cliente solicita informações em relação à descrição do serviço educacional ou gerencial que será utilizado. Comumente a descrição do serviço pode ser realizada por meio do padrão da linguagem WSDL. Assim, uma vez conhecido o endereço do serviço provedor e a forma como ele é descrito, a comunicação pode ser feita direta ou indiretamente, por meio de serviços intermediários (*service agent*). A

comunicação entre o cliente e o provedor de serviços deve ser realizada utilizando também uma linguagem padronizada, na proposta da *Ref-mLearning*, a comunicação foi exemplificada por meio do uso do SOAP.

Por fim, vale destacar que para garantir maior qualidade na integração entre os serviços, o componente de qualidade (*quality service*) tem por objetivo realizar o monitoramento entre a comunicação dos serviços clientes e provedores. Possibilitando assim, maior garantia no cumprimento dos requisitos não funcionais, como por exemplo, disponibilidade, tempo máximo de resposta, *delay*, latência, entre outros.

Ressalta-se, também, que o módulo de personalização (Figura 33) contém componentes que têm apenas interfaces que afetam o comportamento de componentes contidos em outros módulos, fornecendo-lhes funcionalidades relacionadas principalmente com a personalização e adaptação ao contexto dos usuários. Assim, por exemplo, os componentes contidos no módulo de personalização podem afetar o comportamento dos componentes do módulo de ensino e alterar o comportamento do ambiente (adaptação ao contexto) em relação a uma posição geográfica, um evento de tempo, entre outros aspectos. Além disso, o próprio módulo de personalização pode ser afetado por componentes de persistência, necessitando e requisitando armazenamento de dados.

5.4.4 Visão de Implantação

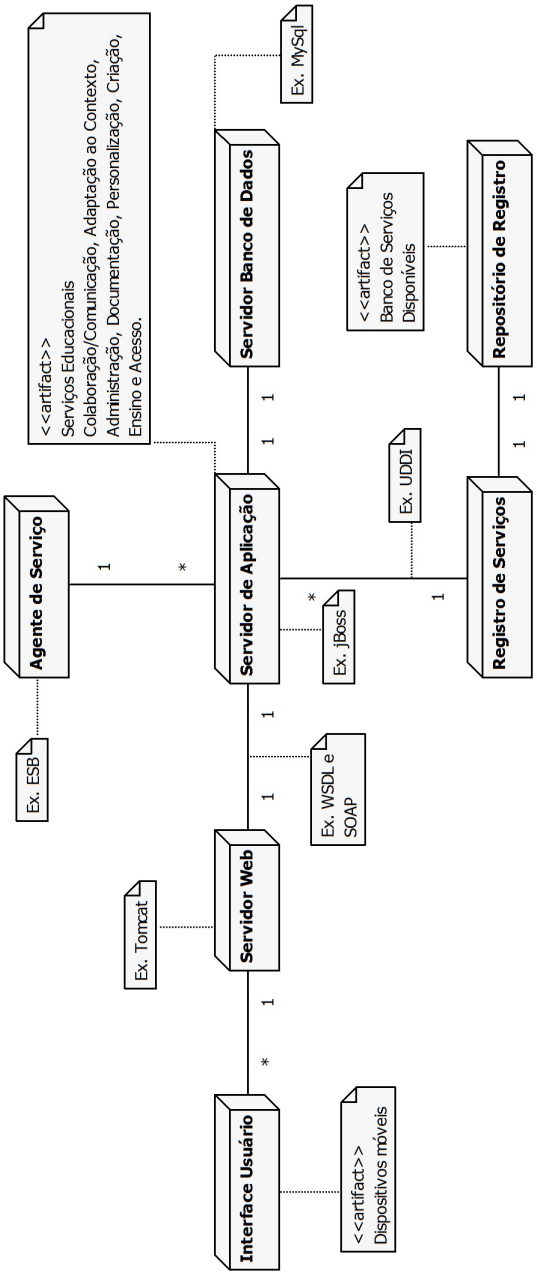
A visão de implantação contém a parte física do ambiente e a conexão entre suas subpartes, interação hardware e software, tendo como objetivo colocar o sistema em operação. A visão de implantação, no contexto da *Ref-mLearning*, mostra a organização física do ambiente educacional, os dispositivos móveis, locais de persistência dos dados, os periféricos e como eles se conectam entre si.

Diante das particularidades de um ambiente educacional móvel (dispositivos móveis, servidores, *broadcast* de dados, entre outras), a representação dos elementos físicos que fornecem apoio ao desenvolvimento e utilização de ambientes de aprendizagem móvel é importante, principalmente para a utilização por partes de desenvolvedores, integradores e testadores, facilitando os testes e produção do ambiente educacional.

Em complementação, a visão de implantação também é relevante visto que a arquitetura é orientada a serviços, possuindo diversos serviços com funcionalidades que interagem de forma distribuída. Nesse sentido, a representação de suas estruturas é importante. A Figura 34 representa a estrutura física na qual os serviços educacionais, seus clientes e toda a infraestrutura necessária para que as requisições segundo o estilo arquitetural SOA sejam possíveis de serem realizadas. A representação da visão de implantação da *Ref-mLearning* foi desenvolvida em UML e pode ser visualizada pela Figura 34.

A visão de implantação da *Ref-mLearning* representa uma visão similar a outros ambien-

Figura 34 – Visão de Implantação da *Ref-mLearning*.



Fonte: Elaborada pelo autor.

tes educacionais acessados pela Web. A grande diferença refere-se ao seu acesso ser realizado via dispositivos móveis e à incorporação de aspectos do estilo arquitetural SOA, de modo a garantir maior interoperabilidade e reúso para os serviços educacionais.

A visão de implantação é constituída pelos seguintes elementos:

- Servidor de banco de dados: responsável por armazenar e organizar os dados providos pelo ambiente educacional, juntamente com os serviços que estão sendo utilizados;

- Servidor da aplicação: agrega diversos serviços educacionais, de autoria, comunicação, adaptação de contexto e gerais, provendo os serviços necessários para a execução e utilização de um ambiente de aprendizagem móvel. Este elemento também é responsável por executar as requisições realizadas por serviços clientes;
- Servidor de registro de serviços: tem por objetivo realizar o gerenciamento dos serviços (gerenciais e educacionais) juntamente com as suas informações e ajudar/apoiar o processamento de busca por parte dos serviços clientes;
- Repositório de registro de serviços: elemento responsável por armazenar os registros dos serviços gerenciados pela entidade de registro de serviços;
- Servidor de agente de serviços: elemento cuja finalidade é armazenar aplicações relacionadas com o funcionamento do cliente da aplicação, podendo ser implementado por meio de um ESB;
- Servidor web: proporciona que os usuários acessem as funcionalidades contidas no ambiente educacional, por exemplo, utilizando um *Tomcat*;
- Atores: por meio de dispositivos móveis, os usuários podem fazer o acesso ao ambiente educacional via navegadores web.

5.5 Avaliação da Arquitetura de Referência

A última etapa a ser executada em relação ao processo de construção de uma arquitetura de referência é relacionada com sua avaliação. Nesta seção é apresentada a avaliação realizada na *Ref-mLearning*.

De acordo com Barcelos e Travassos (2006a), métodos de avaliação para arquiteturas de software, independentemente do contexto, apresentam diversas questões em relação ao seu planejamento e aplicação, levando em consideração: (1) limitação do escopo; (2) dependência do conhecimento do avaliador/especialista; (3) dependência de representações particulares; (4) alto custo e tempo; (5) avaliação de elementos distintos, entre outros.

De modo geral, avaliar uma arquitetura de software (artefatos arquiteturais) não é uma tarefa trivial, precisando ter um bom planejamento e fazer com que a execução esteja alinhada com os objetivos finais da avaliação. Barcelos e Travassos (2006b) também sugerem a utilização de métodos e ferramentas que possam auxiliar e ajudar na avaliação de artefatos arquiteturais.

Neste contexto, ressalta-se que não há na literatura um método formal para avaliação de arquiteturas de referência em sua totalidade; de fato, o que existem são iniciativas isoladas que avaliam partes específicas de uma arquitetura de referência (modelagem, documentação, elementos, instanciação, prototipação, entre outros aspectos). Para garantir maior qualidade e confiabilidade frente à arquitetura *Ref-mLearning*, juntamente com a identificação de limitações

e melhorias, foram propostas e executadas algumas técnicas distintas de avaliação (aplicadas e descritas na literatura) que, em conjunto, podem proporcionar uma avaliação mais completa e abrangente em relação a uma arquitetura de referência.

Tais técnicas, utilizadas para a avaliação da *Ref-mLearning*, consistem basicamente em três tipos de avaliação, sendo elas: (1) uma avaliação informal quantitativa, conduzida por meio de um comparativo com um modelo de referência para arquiteturas de referência. Com isso, verifica-se a presença de elementos importantes e necessários para a representação de uma arquitetura de referência genérica; (2) uma avaliação formal, utilizando *checklists* de avaliação com o auxílio de especialistas da área; e (3) uma avaliação por meio da instanciação de uma arquitetura concreta juntamente com o desenvolvimento de um protótipo para ambientes de aprendizagem móvel. Nas próximas seções são discutidas as duas primeiras técnicas; a terceira técnica é apresentada no Capítulo 6.

5.5.1 Comparativo com o modelo de referência RAModel

Muitas arquiteturas de referência têm sido propostas sem a devida atenção e preocupação sobre como deveriam ser representadas e constituídas, incorporando assim, um processo *ad-hoc* em sua construção (NAKAGAWA, 2012). A maioria das arquiteturas de referência apresenta formas diferentes em relação à apresentação de seus elementos e, mesmo apresentando uma estrutura geral, muitas delas não incorporam elementos importantes como, por exemplo, elementos de decisão arquitetural, domínios, restrições, aspectos conceituais, entre outros.

É relevante a utilização de modelos/métodos que possam apoiar o desenvolvimento de uma arquitetura de referência (GUESSI; OLIVEIRA; NAKAGAWA, 2011). Com isso, seus desenvolvedores podem ter um esboço e diretrizes do que devem ou podem incorporar em sua arquitetura. Além de ajudar os desenvolvedores, os modelos podem motivar a construção de novas arquiteturas bem como a avaliação e evolução de arquiteturas já existentes.

Neste contexto, a arquitetura *Ref-mLearning* também precisa ser avaliada, de preferência por um modelo de referência que possa indicar quais elementos da arquitetura são necessários, juntamente com uma avaliação comparativa, proporcionando um melhor entendimento da arquitetura bem como a eventual inclusão de melhorias. Para isso, foi utilizado o modelo RAModel (NAKAGAWA, 2012), específico para um comparativo quantitativo de arquiteturas de referência.

O RAModel (*Reference Architecture Model*), de modo geral, tem por objetivo melhorar a compreensão sobre o que são arquiteturas de referência, bem como os seus componentes e os relacionamentos, além de apoiar a criação, uso e evolução dessas arquiteturas. Investigando o trabalho de Allian, Oliveira e Nakagawa (2015), que aplicaram este modelo, é possível verificar que o mesmo possibilita uma maior orientação e melhora na produtividade durante a construção de novas arquiteturas de referência. Além disso, o modelo representa um apoio eficaz para a evolução e avaliação de arquiteturas existentes.

O RAModel, por permitir uma eficiente avaliação e comparação em relação aos elementos necessários para uma arquitetura de referência, é propício a ser aplicado ao contexto da *Ref-mLearning*, constituindo uma das formas de avaliação para a arquitetura. Vale ressaltar que o RAModel é independente do contexto de aplicação, podendo ser utilizado em arquiteturas de referência com diferentes domínios (educacionais, financeiros, entre outros).

O RAModel foi proposto a partir de uma revisão sistemática tendo como base os principais elementos necessários para constituir uma arquitetura de referência independente do domínio. A partir de análises e investigação de fontes de informação correlacionadas com arquiteturas de referência, Nakagawa (2012) definiu a estrutura geral do modelo (Figura 35), tendo como base quatro grupos de elementos centrais para uma arquitetura de referência, a saber:

- *Domain* (Domínio): contém elementos relacionados ao domínio de aplicação da arquitetura, levando em consideração legislações/normas em relação ao domínio, padrões e processos de certificação, e os impactos dos sistemas e arquiteturas de referência para o domínio em questão;

- *Application* (Aplicação): contém elementos que proporcionam um bom entendimento sobre a arquitetura de referência, possuindo elementos relacionados ao escopo, requisitos, padrões, limitações, entre outros elementos. Este grupo também possui elementos relacionados com as regras de negócio.

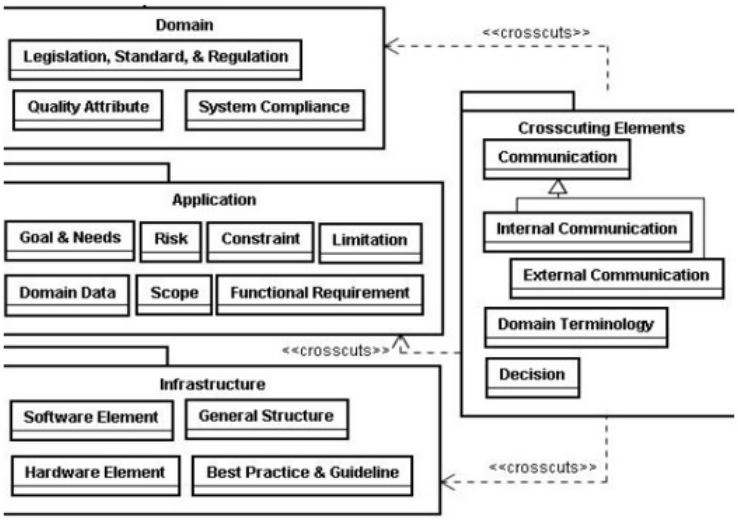
- *Infrastructure* (Infraestrutura): este grupo refere-se a elementos que possam ser utilizados para construir os sistemas de software com base na arquitetura de referência, sendo relacionados a processos, configurações, boas práticas e aspectos estruturais de um determinado domínio;

- *Crosscuting Elements* (Elementos Transversais): agrega um conjunto de elementos que normalmente estão espalhados por todo e/ou ligados com elementos dos grupos anteriores (domínio, aplicação e infraestrutura). Neste grupo é importante definir corretamente os elementos de comunicação (interna e externa), bem como as terminologias de domínio e as decisões em relação aos elementos transversais.

A seguir é apresentada uma breve descrição de cada elemento presente na estrutura geral do RAModel (Tabelas 12, 13, 14 e 15). Esta descrição é importante para entender os objetivos dos elementos e, assim, possibilitar uma comparação com os elementos da *Ref-mLearning*.

Na Tabela 16 é apresentado um comparativo dos elementos do RAModel com os elementos da *Ref-mLearning*. O comparativo foi realizado em uma única instância. Isso foi possível pois o modelo de referência RAModel é autoaplicável (podendo ser aplicado por um especialista do modelo), possibilitando a identificação de elementos relevantes em uma arquitetura de referência genérica sem a necessidade da presença e auxílio de especialistas da área (SOA e *m-learning*).

Figura 35 – Estrutura Geral do RAModel.



Fonte: Nakagawa (2012).

Tabela 12 – Elementos do Grupo Domínio.

Elementos do Grupo de Domínio	
Elemento	**Descrição**
Legislações, padrões e regulamentos	Leis, normas e padrões existentes no domínio de aplicação. Devem estar presentes nos sistemas resultantes da arquitetura de referência.
Atributos de qualidade	Necessidade da arquitetura apresentar e representar atributos de qualidade, por exemplo, manutenção, portabilidade, escalabilidade, entre outros. Possibilita assim, a implementação de sistemas com alto grau de qualidade e satisfação.
Compliance do sistema	Formas e meios para averiguar se os sistemas desenvolvidos a partir da arquitetura de referência seguem legislações, normas ou regulamentos existentes.

Fonte: Adaptada de Nakagawa (2012).

Tendo como base o mapeamento apresentado na Tabela 16, é possível verificar que a *Ref-mLearning* está de acordo com quase todos os elementos do RAModel, com poucas ausências de elementos relacionados. A seguir é apresentada uma análise em relação aos elementos presentes e ausentes, tendo como base os grupos do RAModel:

- *Domain* (Domínio): Em relação ao grupo de elementos de domínio, é possível verificar que a *Ref-mLearning* incorpora praticamente todos os elementos necessários, com exceção de aspectos de *compliance* do sistema. A arquitetura de referência foi elaborada e desenvolvida levando em consideração diretrizes e boas práticas de ensino e aprendizagem, ajudando a contemplar aspectos didáticos para um ambiente educacional. Ressalta-se que tais normas são relacionadas com aspectos da aprendizagem tradicional, não existindo normas e padrões específicos para a aprendizagem móvel. Sendo assim, é necessária também a investigação de trabalhos relacionados especificamente com o tema de aprendizagem móvel.

Tabela 13 – Elementos do Grupo de Aplicação.

Elementos do Grupo de Aplicação	
Elemento	**Descrição**
Restrições	São restrições apresentadas pela arquitetura de referência de modo geral ou restrições em partes específicas (módulos) de uma arquitetura de referência.
Domínio dos dados	Representa o domínio de dados encontrados nos sistemas. Estes dados são apresentados em um nível mais alto de abstração.
Requisitos funcionais	Representa o conjunto de requisitos funcionais, comuns ao domínio da arquitetura de referência.
Objetivos e necessidades	Define os objetivos da arquitetura de referência, juntamente com as principais necessidades incorporadas na arquitetura de referência.
Limitações	Representa as limitações apresentadas pela arquitetura de referência em relação ao seu domínio de aplicação.
Riscos	São riscos encontrados e incorporados na arquitetura de referência, por exemplo, a arquitetura pode ser definida com mais ou menos detalhes arquiteturais, evitando assim ambiguidades ou inflexibilidades em sua instanciação.
Escopo	Define qual é o escopo da arquitetura de referencia, ou seja, o tipo de conjunto de sistemas que podem ser desenvolvidos com base na arquitetura em questão.

Fonte: Adaptada de Nakagawa (2012).

Tabela 14 – Elementos do Grupo de Infraestrutura.

Elementos do Grupo de Infraestrutura	
Elementos	**Descrição**
Boas práticas e diretrizes	Representam boas práticas e diretrizes em relação ao desenvolvimento do sistema de domínio.
Estrutura geral	Define uma estrutura geral para a arquitetura de referência, representada por modelagens e estilos arquitetónicos.
Elementos de físicos (Hardware)	Indica os principais elementos de hardware, como servidores e dispositivos, resultantes da instanciação da arquitetura de referencia. Pode ser realizado de forma textual ou gráfica.
Elementos lógicos (Software)	Elementos de software presentes na arquitetura de referência, como por exemplo, subsistemas, classes e componentes, facilitando o desenvolvimento dos sistemas de domínio.

Fonte: Adaptada de Nakagawa (2012).

Tabela 15 – Elementos do Grupo de Elementos Transversais.

Elementos do Grupo de Elementos Transversais	
Elementos	**Descrição**
Decisões	São decisões incorporadas na arquitetura de referência, incluindo a descrição das decisões, opções (alternativas) e *tradeoffs*.
Terminologia de domínio	Conjunto de termos de domínio que descrevem os conceitos envolvidos na instanciação dos sistemas, sendo utilizados na descrição da arquitetura de referência.
Comunicação externa	Representam os meios pelos quais ocorre a troca de informações do sistema instanciado em relação ao ambiente externo.
Comunicação interna	Representam os meios pelos quais ocorre a troca de informações internas do sistema instanciado.

Fonte: Adaptada de Nakagawa (2012).

Tabela 16 – Comparativo dos elementos do RAModel com os Elementos da *Ref-mLearning*.

Elementos do Grupo de Domínio		
Item	**Elemento**	**Incorporação na *Ref-mLearning***
1.1	Legislações, padrões e regulamentos	√
1.2	Atributos de Qualidade	√
1.3	Compliance do Sistema	--
Elementos do Grupo de Aplicação		
Item	**Elemento**	**Incorporação na *Ref-mLearning***
2.1	Restrições	√
2.2	Domínio dos dados	√
2.3	Requisitos Funcionais	√
2.4	Objetivos e necessidades	√
2.5	Limitações	√
2.6	Riscos	--
2.7	Escopo	√
Elementos do Grupo de Infraestrutura		
Item	**Elementos**	**Incorporação na *Ref-mLearning***
3.1	Boas práticas e diretrizes	√
3.2	Estrutura geral	√
3.3	Elementos de Físicos (Hardware)	√
3.4	Elementos lógicos (Software)	√
Elementos do grupos de Elementos Transversais		
Item	**Elementos**	**Incorporação na *Ref-mLearning***
4.1	Decisões	--
4.2	Terminologia de Domínio	√
4.3	Comunicação Externa	√
4.4	Comunicação Interna	√

Fonte: Elaborada pelo autor.

No quesito atributos de qualidade, a arquitetura de referência foi elaborada com base em um modelo de critérios, requisitos e descrições para ambientes de aprendizagem móvel, permitindo que as arquiteturas (concretas) instanciadas, tendo como base a *Ref-mLearning*, agreguem e incorporem atributos mínimos de qualidade. Por fim, a *Ref-mLearning* não contempla aspectos de *compliance* do sistema devido ao fato de que a grande maioria das normas e legislações para aprendizagem serem abrangentes e genéricas, não sendo direcionadas para o contexto da aprendizagem móvel.

- *Application* (Aplicação): O ponto limitante da *Ref-mLearning* em relação aos elementos do grupo de aplicação é a falta de indicação e descrição de riscos que podem ser encontrados ou incorporados na arquitetura de referência. Tal ausência se justifica pelo fato de que sempre haverá riscos no momento da instanciação de arquiteturas concretas, podendo a arquitetura ser mais ou menos detalhada, levando a ambiguidades ou generalizações arquiteturais. Isso também se refere ao fato de que o contexto da aprendizagem móvel é novo e ainda em desenvolvimento, com o surgimento de novas tecnologias, novos riscos podem aparecer ou serem sanados. Por outro lado, a arquitetura de referência em questão possui restrições em relação aos seus módulos e principalmente em relação a suas visões arquiteturais, o que facilita o seu entendimento e a ligação entre as visões. Também possui um conjunto de domínio de dados que juntamente com o modelo de qualidade, definem os dados específicos do sistema, sendo eles educacionais, gerenciais, cadastrais, entre outros.

A arquitetura também apresenta uma indicação dos principais requisitos funcionais por meio da sua visão geral e visão de módulos, representando não somente os requisitos funcionais, mas também o seu relacionamento, destacando requisitos como comunicação, avaliação, autoria, gerenciamento, personalização, entre outros. Por fim, a *Ref-Learning*, juntamente com as suas descrições, modelagens e detalhamentos, proporciona um objetivo e escopo bem definidos, sendo direcionada especificamente para ambientes de aprendizagem móvel orientados a serviços. A maior limitação desta arquitetura é o fato de que não existem detalhamentos em nível de codificação (baixo nível), o que proporcionaria maior flexibilidade em relação à utilização de *frameworks*, padrões e tecnologias específicas para se implementar o ambiente de aprendizagem móvel.

- *Infrastructure* (Infraestrutura): Em relação ao conjunto de elementos de infraestrutura, a *Ref-mLearning* possui e contempla todas as características definidas no modelo RAModel. A arquitetura foi definida e proposta seguindo um conjunto de boas práticas e diretrizes específicas à aprendizagem móvel. Todo o seu desenvolvimento foi realizado por meio de revisões sistemáticas, avaliações e comparações de ambientes reais de aprendizagem móvel, ajuda de especialistas, entre outros fatores, proporcionando a identificação de pontos relevantes e necessários para a construção da arquitetura em questão. A arquitetura também apresenta uma estrutura geral bem definida e detalhada. A *Ref-mLearning* foi construída tendo como base os princípios da UML, possuindo regras e terminologias de modelagem.

  Além de apresentar uma visão geral sobre a sua arquitetura com relacionamentos e descrições, a arquitetura também possui diferentes visões arquiteturais, possibilitando um melhor entendimento relacionado a aspectos estruturais e comportamentais, facilitando assim a instanciação de arquiteturas concretas para diferentes estilos arquitetônicos. No contexto de elementos físicos, a *Ref-mLearning* define uma visão de implantação na qual é possível detalhar e descrever aspectos relacionados com elementos de hardware, servidores, dispositivos, e os seus relacionamentos. Por fim, a arquitetura também possui visões de módulo e de tempo de execução que ajudam no entendimento dos aspectos lógicos. Estes aspectos são importantes, pois ajudam no entendimento e tomadas de decisão em níveis de tecnologia a serem utilizadas nas arquiteturas concretas (instanciadas com base na *Ref-mLearning*), definindo os detalhes em níveis de subsistemas, classes, componentes, entre outros elementos.

- *Crosscuting Elements* (Elementos Transversais): A *Ref-mLearning* possui alguns indícios implícitos de *tradeoffs* em sua descrição, tais como a utilização de recursos *versus* consumo de bateria, portabilidade *versus* dimensões de diferentes dispositivos móveis, entre outros. No entanto, de modo geral, a arquitetura não incorpora decisões relacionadas à instanciação de arquiteturas concretas, sobretudo em relação às decisões de projeto e níveis tecnológicos.

Tais decisões de projeto, principalmente em nível de tecnologia podem "engessar" o processo de definição de uma arquitetura concreta, lembrando que o contexto da aprendizagem móvel é considerado ainda novo e em evolução quanto à parte tecnológica. A cada dia surgem novas tecnologias que podem ser incorporadas na construção e desenvolvimento de aplicações móveis. Portanto, é importante deixar que diferentes tecnologias possam ser utilizadas para a construção de um ambiente de aprendizagem móvel, estando ligadas principalmente com o contexto de utilização do ambiente educacional.

5.5.2 Checklist *de Avaliação com Especialistas*

Na Seção 5.5.1, a avaliação realizada teve objetivo quantitativo por meio da comparação com o RAModel. Para uma avaliação completa, de acordo com Shaw e Clements (2006), também é importante incorporar aspectos qualitativos à avaliação. Para contemplar esta necessidade, nesta seção é apresentada uma avaliação qualitativa por meio de aplicação de um *checklist* com a ajuda de especialistas da área.

É importante destacar, que, de acordo com Barcelos e Travassos (2006b), métodos de avaliação arquitetural podem apresentar dificuldades e problemas de aplicação, tais como limitações de escopo, dependência do conhecimento do avaliador, dependência de determinadas técnicas de representação/modelagem, alto custo de execução, entre outros. Tais problemas podem ser minimizados com a utilização de *checklists* de avaliação (BASS; CLEMENTS; KAZMAN, 2003).

Embora existam muitos métodos de avaliação arquitetural, vários desses métodos não são adequados e adaptados para a avaliação de arquiteturas de referência (NAKAGAWA; MALDONADO, 2007), devido aos seus elementos, contexto, representações e organização. Uma lista de verificação (*checklist*) é uma ferramenta simples e flexível, que pode ser utilizada de modo isolado ou como uma pré-avaliação, possibilitando descobrir erros e inconsistência ao longo do ciclo de vida de uma arquitetura de referência. Ressalta-se que a lista de verificação deve ser construída e organizada para proporcionar uma avaliação eficiente e efetiva frente ao contexto da arquitetura de referência.

No contexto deste trabalho, foi elaborado um *checklist* com o propósito de avaliar, por meio da ajuda de especialistas, a arquitetura *Ref-mLearning*. A arquitetura foi previamente validada por meio de um modelo de referência específico para arquiteturas de referência (NAKAGAWA, 2012). A ajuda de especialistas possibilitou a identificação de melhorias, principalmente no contexto educacional e móvel, entre outros aspectos da arquitetura, sendo complementar à validação realizada por meio do modelo de referência RAModel.

A avaliação foi realizada na forma de um questionário *online*, possibilitando o acesso a um conjunto específico de especialistas. Inicialmente, o questionário foi proposto tendo como base 37 perguntas/questões. Todas as perguntas do questionário são focadas diretamente no

entendimento, descrições, modelagem e relacionamentos da *Ref-mLearning*, verificando, por meio de dados estatísticos, possíveis melhorias e considerações em relação a arquitetura de referência. Os questionários foram aplicados com 18 participantes, sendo 10 arquitetos de software e 8 especialistas em aprendizagem móvel.

A construção do *checklist* foi baseada na literatura, a partir de trabalhos relacionados com ambientes de aprendizagem móvel, arquiteturas de referência e arquitetura de software. Primeiramente, houve uma adaptação do *checklist* para a avaliação de arquiteturas de software apresentado no trabalho de Clements *et al.* (2011), para o contexto de arquiteturas de referência, modificando e adaptando algumas questões do *checklist*.

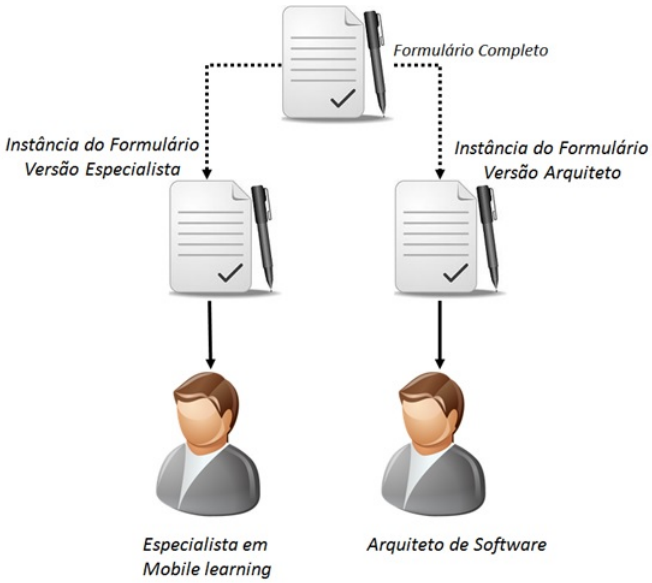
Houve também uma complementação da lista de verificação com perguntas/questões baseadas no catálogo de requisitos específicos para ambientes de aprendizagem móvel (FILHO; BARBOSA, 2013). Por fim, o *checklist* foi refinado para cobrir tópicos (Domínio, Aplicação, Infraestrutura e Elementos Transversais) tratados e analisados por Nakagawa (2012), onde foi definido um modelo de referência para arquiteturas de referência, determinando as informações relevantes e necessárias para serem representadas em uma arquitetura de referência genérica (NAKAGAWA, 2012).

Em um segundo momento, realizaram-se adaptações em relação às considerações feitas originalmente no trabalho de Clements *et al.* (2011), dividindo as questões do *checklist* em dois grupos de entrevistados: arquitetos e especialistas de domínio (aprendizagem móvel). Os arquitetos são engenheiros de software responsáveis por projetar a arquitetura de referência, possuindo também conhecimento sobre SOA. O especialista de domínio, no caso do presente trabalho, são especialistas que possuem conhecimentos em relação à estruturação, planejamento e execução de ambientes de aprendizagem móvel. Ressalta-se que para alguns participantes, o *checklist* foi traduzido e remodelado para o idioma inglês. A Figura 36 ilustra a estrutura e a aplicação do *checklist*.

Antes de responder ao questionário, foi preciso que os participantes passassem por um rápido treinamento com orientações e diretrizes, também efetuado de modo *online* (via *e-mail*, *chat* ou chamada de voz). Após terem sido passadas as diretrizes, cada participante deveria ler algumas informações básicas da *Ref-mLearning*, resumidas em algumas páginas, nas quais foram sintetizados os aspectos relevantes da arquitetura como, por exemplo: (1) informações gerais; (2) catálogo de requisitos; (3) visão geral; (4) visão de módulos; (5) visão em tempo de execução; e (6) visão de implantação.

O *checklist* proposto foi estruturado em sete estágios (grupos de questões) (Figura 37) denominados: (1) aspectos gerais, (2) aspectos conceituais, (3) aspectos de domínio educacional, (4) aspectos de domínio educacional móvel, (5) aspectos de infraestrutura, (6) aspectos de modelagem, e (7) aspectos de SOA. Estes estágios foram divididos em um ou mais conjuntos de questões. Ressalta-se que os estágios (1) e (2) são comuns a ambos os entrevistados, pois possuem similaridade de conteúdo para ambas as partes interessadas.

Figura 36 – Organização e aplicação do formulário.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 37 – Divisão dos Formulários.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 17 mostra algumas questões presentes no *checklist*. Mostra, também, a estrutura dos formulários em relação a sua aplicação aos interessados e a sua sub-divisão frente aos grupos de questões. O *checklist* completo, juntamente com as informações iniciais, de treinamento e as questões, podem ser visualizadas no Apêndice B.

Cada questão do *checklist* pôde ser respondida de acordo com a legenda a seguir, sendo relacionadas com os itens da arquitetura: (1) Atende Totalmente; (2) Atende Parcialmente; (3) Não Atende; e (4) Indiferente. A definição desta escala tem por objetivo medir o nível de concordância ou não concordância à afirmação apresentada aos avaliadores (arquitetos e especialistas), tendo como base a escala *Likert* (LIKERT, 1932). Isso facilita a análise do resultado final, onde cada item pode ser analisado separadamente ou, podem ser somados para criar um resultado por grupo de itens.

Tabela 17 – Exemplo de questões do formulário.

Formulário	Questões	Grupo
Formulário (Arquiteto e Especialista Educacional)	A justificativa da proposta da arquitetura de referência é clara e evidente?	Aspectos Gerais
	A arquitetura define e descreve claramente os requisitos arquiteturais?	
	...	
	Os objetivos e necessidades da aplicação são explícitos e descritos pela arquitetura de referência?	Aspectos Conceituais
	A arquitetura de referência possui um glossário/dicionário estruturado, em relação às terminologias e suas definições?	
	...	
Formulário Especialista Educacional	A arquitetura apoia o desenvolvimento de ambientes que fornecem informações sobre os cursos/disciplinas/tutorias?	Aspectos Domínio Educacional
	A arquitetura permite o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel com gerenciamento de conteúdo?	
	...	
	A arquitetura garante uma acessibilidade adaptada para dispositivos móveis? (suportando diferentes linguagens da comunicação e cognição)	Aspectos Domínio Educacional Móvel
	A arquitetura permite ao ambiente a colaboração entre os usuários por meio de wikis, fóruns, microblogging, redes sociais, entre outras ferramentas?	
	...	
Formulário Arquiteto de Software	A infraestrutura da arquitetura pode ser representada por uma visão geral?	Aspectos de Infraestrutura
	Aspectos lógicos (classes, pacotes, interfaces, entre outros) são descritos e representados na arquitetura?	
	...	
	As visões arquiteturais são descritas e documentadas?	Aspectos de Modelagem
	As relações entre as visões e componentes estão explicitamente documentadas?	
	...	
	A arquitetura possibilita o tratamento de serviços educacionais de forma uniforme, ou seja, podendo ser publicados e localizados?	Aspectos SOA
	A arquitetura flexibiliza o desenvolvimento de ambientes educacionais móveis escaláveis, capazes de evoluir de forma incremental por meio da adição de novos serviços?	
	...	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a aplicação dos questionários, os dados foram analisados estatisticamente e conclusões foram extraídas sobre os itens e elementos avaliados da *Ref-mLearning*. Pela Figura 38 observa-se que 48% dos itens avaliados (em ambos os questionários – arquitetos e especialistas) atendem totalmente aos requisitos vinculados à *Ref-mLearning*; somente 6% e 17%, respetivamente "Não Atenderam" aos requisitos mínimos (por não fazerem parte do escopo ou por limitações próprias da arquitetura) e apresentaram "Indiferença", principalmente quando o avaliador não tinha conhecimento para a avaliação do item.

De modo geral, em comparação com a avaliação conduzida a partir do modelo de referência (RAModel), além da *Ref-mLearning* conter a maioria dos elementos relevantes para uma arquitetura de referência, nesta avaliação qualitativa foi possível notar que a maioria dos elementos considerados "Atende Totalmente" os requisitos básicos referentes ao contexto da

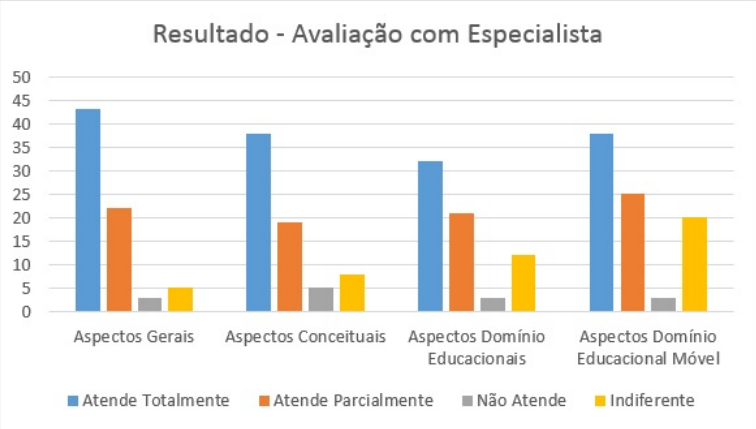
Figura 38 – Resultado Geral da Avaliação.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Ref-mLearning.

Nas figuras 39 e 40, pode-se observar que a maioria das questões respondidas como "Não atende" (13 questões) são relacionadas ao grupo de "Aspectos Conceituais". Uma justificativa para este resultado é a fato de que nem todos os conceitos e descrições puderam ser inseridos no *checklist*, visto que o *checklist* poderia ficar longo e de difícil leitura e aplicação. Por outro lado, observa-se que os demais grupos obtiveram uma boa quantidade de respostas "Atende totalmente".

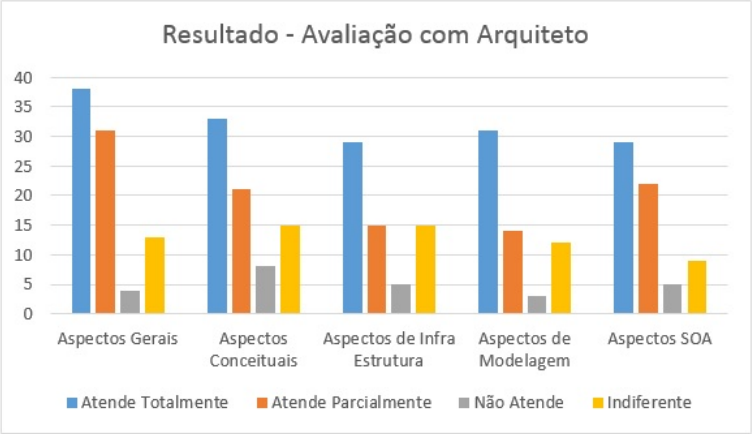
Figura 39 – Resultado – Avaliação com Especialistas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Ressalta-se que o grupo de "Aspectos Gerais", aplicado com os especialistas e arquitetos, conseguiu alcançar bons índices de avaliação, principalmente pelo fato de que a *Ref-mLearning* foi desenvolvida tendo como base um processo sistemático de elaboração e também ter sido comparada e analisada em relação a um modelo de referência para arquiteturas de referências, garantindo que a mesma incorporasse elementos básicos na sua arquitetura, juntamente com

Figura 40 – Resultado – Avaliação com Arquitetos.



Fonte: Elaborada pelo autor.

aspectos gerais e essências para uma arquitetura de referência genérica.

Em relação aos "Aspectos de Infraestrutura", "Modelagem", e "SOA", mesmo tendo um alto nível de aceitação (89 questões respondidas como "Atende Totalmente"), é possível destacar alguns indicativos do índice "Atende Parcialmente" principalmente em relação às visões arquiteturais e aspectos de SOA. Na avaliação das visões arquiteturais, houve críticas e considerações em relação à ausência de demais visões de modelagem, porém, para o contexto do atual trabalho, as demais visões de modelagem (estruturais e comportamentais), tornam-se redundantes em relação às visões já desenvolvidas. De fato, tais visões mudam especificamente para cada projeto de desenvolvimento, o que não é interessante em um contexto de arquiteturas de referência. Em relação a aspectos de SOA, praticamente todas as críticas foram baseadas na ausência de aspectos de tecnologia na arquitetura de referência. Ressalta-se, no entanto, que uma das premissas básicas de arquitetura de referência é ser independente da tecnologia, permitindo maior flexibilidade ao longo da instância da arquitetura concreta.

Para os grupos "Aspectos de Domínio Educacional e Móvel" poucas críticas foram destacadas pelos avaliadores. O que se pode notar analisando os dados finais é que muitos aspectos relacionados com conceitos de *m-learning*, como, por exemplo, adaptação ao contexto, conhecimento *just in time*, responsividade, entre outros; foram avaliados como indiferentes, destacando uma falta de conhecimento do avaliador em relação aos itens analisados, principalmente por ser ainda um contexto de aprendizagem emergente.

As avaliações realizadas mostraram que, em geral, os elementos relevantes em uma arquitetura de referência estão presentes na *Ref-mLearning*. Além disso, tais elementos estão adequados ao contexto da arquitetura, atendendo corretamente aos requisitos educacionais móvel e aos aspectos de SOA.

5.6 Considerações Finais

Diante da importância dos ambientes de aprendizagem móvel no contexto educacional, associada aos benefícios da utilização da SOA no desenvolvimento de aplicações computacionais, neste capítulo foi discutida a elaboração da *Ref-mLearning*, uma arquitetura de referência orientada a serviço que tem por objetivo apoiar e prover direções ao desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel.

Por meio da *Ref-mLearning*, tem-se por finalidade contribuir para a construção de ambientes educacionais móveis com maior compreensão de domínio, sendo facilmente integráveis, aprimorando também a capacidade de reúso. É importante destacar que as fontes de informações identificadas durante a etapa RA-1 "Investigação das Fontes de Informação" do ProSA-RA podem ser utilizadas por projetos de outras arquiteturas, principalmente no domínio educacional e orientado a serviço. Os requisitos arquiteturais da etapa RA-2 "Estabelecimento dos Requisitos Arquiteturais" constituem também um ponto de partida para a construção de outras arquiteturas de referência orientadas a serviço.

A etapa RA-3 "Projeto da Arquitetura de Referência" foi realizada com o objetivo de documentação, apresentando conceitos, descrições e os relacionamentos da arquitetura de referência. Para facilitar o entendimento da arquitetura *Ref-mLearning*, flexibilizando a troca de experiência e conhecimento, visões arquiteturais foram definidas e construídas em quatro níveis, sendo eles: (1) Visão Geral; (2) Visão de Módulo; (3) Visão em Tempo de Execução; e (4) Visão de Implantação.

Em relação à etapa RA-4 "Avaliação da Arquitetura de Referência", foi tido como objetivo avaliar a qualidade da arquitetura *Ref-mLearning*. Para isso, foi realizado um comparativo com um modelo de referência (RAModel) e também uma avaliação por meio de um *checklist* com a ajuda de especialistas da área. Ambas as avaliações são importantes pois visam a identificação de elementos relevantes para uma arquitetura de referência, identificação de defeitos relacionados à omissão, ambiguidade, inconsistência e de informações incorretas em relação ao contexto da arquitetura.

Como destacado na Seção 5.5, avaliações informais têm por principal objetivo a identificação de inconsistências, sendo de certa forma uma avaliação teórica frente à definição e construção da arquitetura de referência. Assim, toda arquitetura de referência proposta deve ser avaliada complementarmente em níveis de aplicação e utilização prática. O próximo capítulo apresentará um estudo de caso em relação à instância da *Ref-mLearning* por meio da implementação e utilização de um ambiente de aprendizagem móvel, tendo como objetivo levantar evidências sobre a viabilidade e aplicabilidade da arquitetura *Ref-mLearning*, observando os benefícios relacionados ao reúso e à facilidade de integração e desenvolvimento.

CAPÍTULO

6

ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO E USO DA *REF-MLEARNING*

6.1 Considerações Iniciais

Uma forma complementar de avaliação de arquiteturas de referência é por meio da instanciação de uma arquitetura concreta e implementação de um sistema, permitindo na prática a identificação de ambiguidades, inconsistências e informações incorretas frente à arquitetura proposta. Neste capítulo é apresentado um estudo de caso com base nas informações contidas na *Ref-mLearning*, discutindo a implementação de um ambiente de aprendizagem móvel orientado a serviço. O objetivo principal deste estudo de caso é ilustrar a aplicabilidade da *Ref-mLearning* frente a implementação de um ambiente de aprendizagem móvel, observando benefícios relacionados ao reúso e facilidades de integração. Outro objetivo relacionado (e secundário) é avaliar o uso deste ambiente em cenários reais de ensino e aprendizagem.

Para a realização do estudo de caso, primeiramente na Seção 6.2 é apresentada uma breve descrição sobre a variabilidade de cenários da *Ref-mLearning*, característica importante para o contexto de arquiteturas de referência. Foram definidos dois cenários de aplicação derivados da *Ref-mLearning*, juntamente com os seus requisitos arquiteturais, possibilitando a instância de uma arquitetura concreta.

Na Seção 6.3 é discutida a implementação do protótipo ICMC MLE, um ambiente de aprendizagem móvel orientado a serviços para apoiar o ensino, desenvolvido a partir de uma arquitetura concreta derivada da *Ref-mLearning*. Também são evidenciados aspectos do reúso e da integração dos serviços utilizados (consumidos e implementados) na construção do protótipo ICMC MLE.

Na Seção 6.4 é detalhado o estudo experimental realizado sobre o ambiente ICMC MLE, verificando sua aplicação em um contexto real de ensino e aprendizagem. Por fim, na Seção 6.5

são apresentadas as considerações finais do capítulo.

6.2 Cenários da *Ref-mLearning*

Como mencionado anteriormente, arquiteturas de referência referem-se a um tipo especial de arquitetura que proporciona um entendimento bem definido em relação a um domínio específico de software, promovendo o reúso da experiência, facilidade de desenvolvimento, padronização e evolução do software (DILLON; WU; CHANG, 2007; GUESSI; OLIVEIRA; NAKAGAWA, 2011; AFFONSO; RODRIGUES, 2012). Tais arquiteturas são projetadas para diversos domínios, tendo um impacto importante para o desenvolvimento de software, levando em consideração a produtividade e a qualidade de tais sistemas. Em outra perspectiva, a diversidade de cenários arquiteturais pode ser considerada como um fator primordial dentro do contexto de arquiteturas de referência, principalmente em relação à instanciação de arquiteturas concretas, facilitando a evolução e diversificação do contexto de aplicação das arquiteturas concretas (NAKAGAWA, 2012).

A necessidade de definir e construir boas arquiteturas de referência está vinculada ao fato de que a arquitetura de referência seja capaz de descrever as principais áreas funcionais do sistema em diferentes contextos de aplicação. Para isso, é importante que a arquitetura consiga reproduzir modelagens e representações de arquiteturas concretas frente ao contexto e cenários da aplicação esperada, possibilitando: (1) representar dados do contexto de aplicação do sistema; (2) prover meios de representação específica para o contexto de aplicação do sistema; e (3) fornecer apoio à diversidade de cenários de implementações possíveis.

Cenários arquiteturais é um termo utilizado para representar como os produtos (arquitetura concreta) de uma arquitetura de referência podem se diferenciar entre si (NAKAGAWA, 2012; ADDO *et al.*, 2014). Tal termo surgiu a partir da concepção de *frameworks* e de sua necessidade em serem customizados por meio de pontos de diversificação do contexto de aplicação do sistema final (PREE; H., 1997).

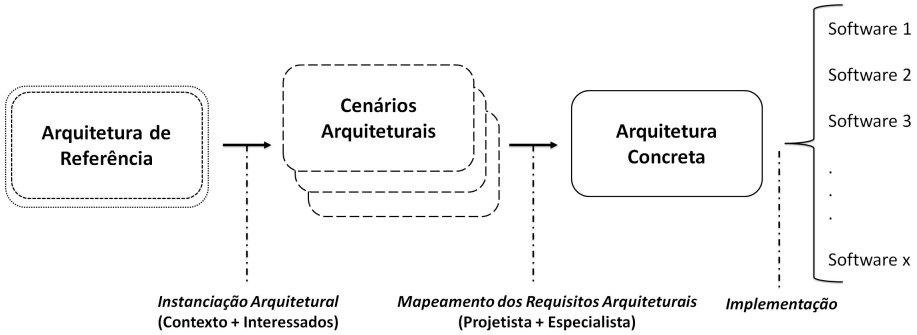
A diversificação de cenários frente a uma arquitetura de referência, além de ajudar em sua análise e validação, também possibilita às organizações explorar as similaridades e variabilidades em seus produtos finais, aumentando a reutilização de artefatos e, como consequência, diminuindo custos e tempo de desenvolvimento.

Nesse contexto, aplicações e ambientes de aprendizagem móvel representam um domínio com similaridades e diversidades bem definidas, principalmente se forem consideradas as diferentes visões entre professores e alunos. Durante a atividade de projeto de uma arquitetura, as similaridades e variabilidades podem ser elicitadas por meio de instâncias de arquiteturas concretas tendo como base uma arquitetura de referência geral. Com isso, é possível estabelecer um projeto reutilizável, com diferentes arquiteturas concretas para cenários educacionais distintos no contexto da aprendizagem móvel.

Para avaliar o grau de reutilização de experiência de projeto obtido a partir do uso da *Ref-mLearning*, dois cenários foram definidos. Para cada cenário, arquiteturas concretas foram instanciadas com base nos requisitos arquiteturais e visões arquiteturas da *Ref-mLearning*.

A Figura 41 representa um processo de especialização arquitetural em que, por meio de uma arquitetura de referência inicial, é possível chegar a um conjunto diversificado de cenários arquiteturais e por fim a uma arquitetura concreta especializada possibilitando a implementação e desenvolvimento de um sistema relacionado a um domínio específico.

Figura 41 – Processo de Especialização Arquitetural



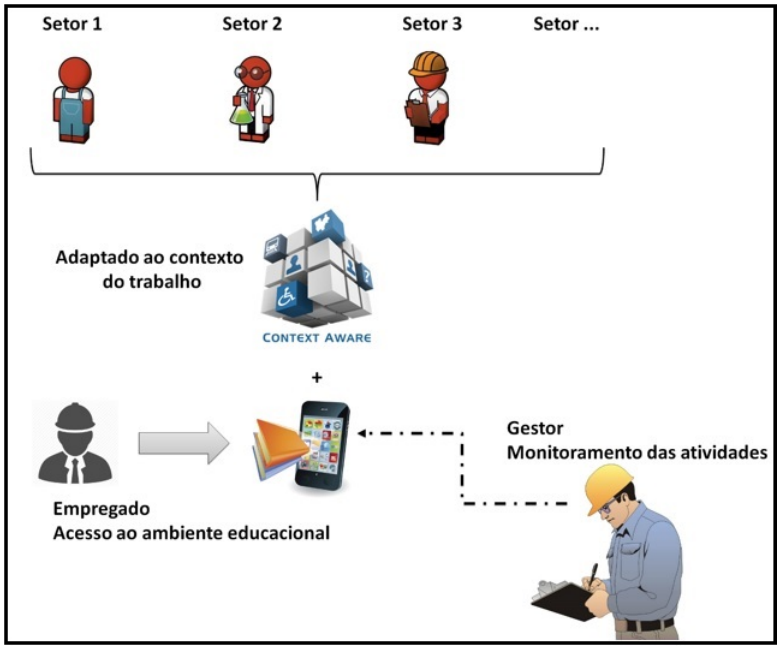
Fonte: Elaborada pelo autor.

O primeiro cenário (Figura 42) foi definido tendo como base um ambiente de aprendizagem móvel para apoiar o treinamento corporativo, onde, dependendo do contexto de uso do funcionário (adaptação ao contexto), o ambiente possa proporcionar atividades educativas (preventivas ou corretivas) em relação às atividades diárias que o empregado desempenha. Gestores e gerentes de setores também podem monitorar as atividades realizadas, possibilitando identificar pontos falhos, inclusive na produção e condução das atividades. Este cenário é útil e interessante principalmente para tentar minimizar erros e falhas ao longo de um processo de produção, sendo muito mais preventivo do que corretivo.

O segundo cenário (Figura 43) foi definido tendo como base um ambiente de aprendizagem móvel que possa apoiar cursos presenciais de graduação e facilitar o uso e acesso dos aprendizes, tutores e professores em relação às atividades educacionais, tais como: atividades de submissão de trabalhos, envio de mensagens, comunicação, acesso ao material didático, entre outras. Professores e tutores também podem se beneficiar da utilização do ambiente, principalmente na possibilidade de monitorar e rastrear as atividades dos aprendizes. O objetivo principal deste cenário é fazer com que os aprendizes possam utilizar o ambiente educacional móvel para o apoio em relação às atividades educacionais. Os aprendizes, tutores e professores podem utilizar ferramentas do ambiente para a realização de colaborações entre eles, proporcionando um mecanismo complementar em relação às atividades educacionais utilizadas dentro da sala de aula tradicional.

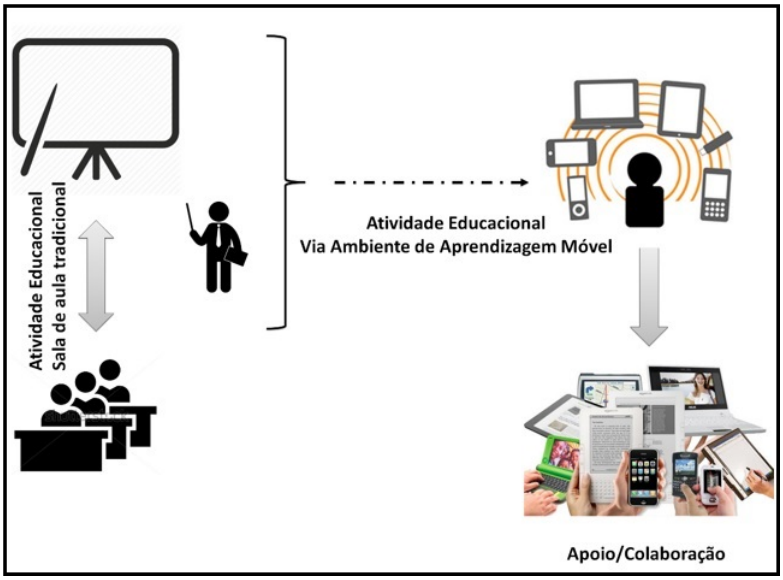
Por meio da definição dos cenários anteriores, é possível verificar diferentes formas em

Figura 42 – *Ref-mLearnig*: Cenário de Aplicação 1.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 43 – *Ref-mLearnig*: Cenário de Aplicação 2.



Fonte: Elaborada pelo autor.

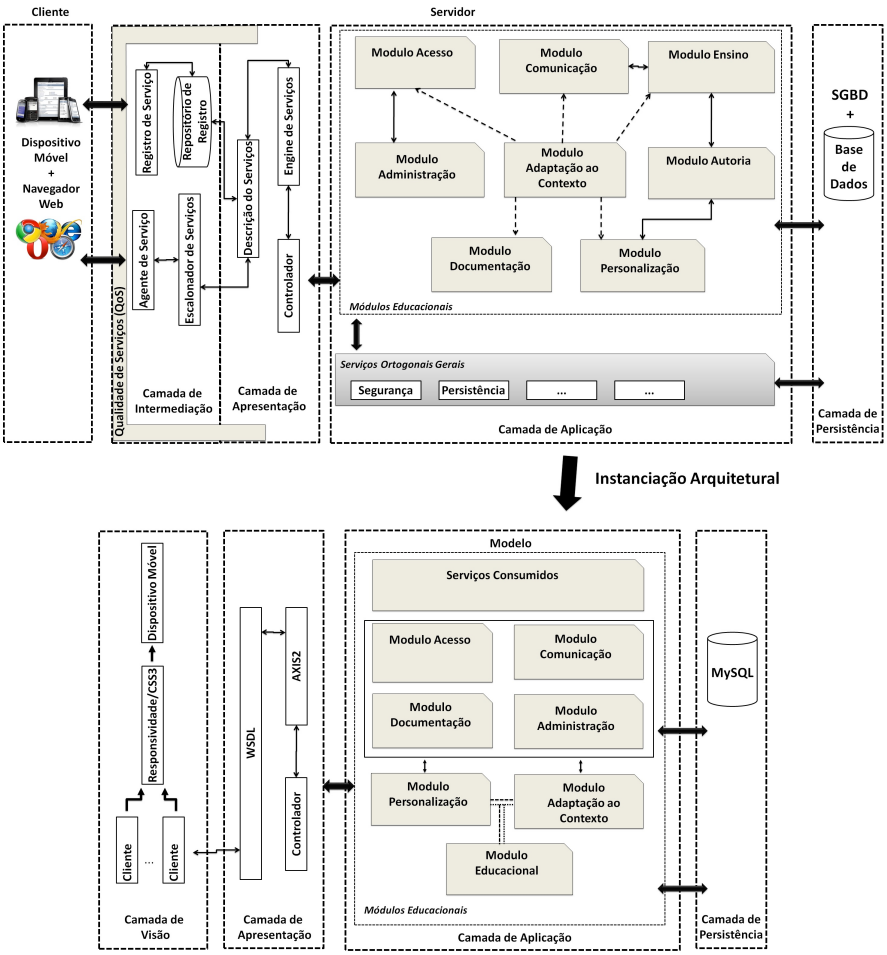
se trabalhar com a aprendizagem móvel, podendo possuir variabilidades de cenários frente ao ensino a distância, apoio ao ensino presencial, simulações e treinamentos, aperfeiçoamento de atividades, entre outros cenários.

Para discutir o uso da *Ref-mLearning* frente à instanciação arquitetural de diferentes cenários, ambos os cenários foram escolhidos para serem especializado em relação aos conceitos e descrições da *Ref-mLearning*. Ressalta-se que tal especialização do cenário arquitetural

pode ser realizada parcial ou totalmente, dependendo do detalhamento e abstração inserida na especialização arquitetural.

Inicialmente, seguindo o processo da Figura 41, a arquitetura de referência utilizada foi a *Ref-mLearning* para representação dos cenários arquiteturais. Em um primeiro momento foi utilizado o primeiro cenário sendo especializado parcialmente, sem levar em consideração aspectos da arquitetura concreta e detalhamentos tecnológicos. A Figura 44 ilustra a especialização parcial do primeiro cenário utilizando a *Ref-mLearning*.

Figura 44 – Especialização Parcial da Arquitetura Concreta: Primeiro Cenário



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 44 é possível observar a instância parcial da *Ref-mLearning*. Nesta instância arquitetural, tem-se apenas a estrutura e os relacionamentos da arquitetura. É possível ter alguns indícios tecnológicos na representação da arquitetura parcial, porém, é relevante que toda a parte do mapeamento dos requisitos arquiteturais sejam desconsiderados na instanciação parcial.

A desconsideração dos requisitos arquiteturais na instanciação parcial de uma arquitetura é importante e relevante principalmente para o seu uso genérico, permitindo o desenvolvimento de softwares similares e até mesmo na utilização de modelos de referência, padrões de projetos

específicos, linha de produtos de software, *frameworks*, e outros artefatos que não devem ser específicos aos interesses dos *stakeholders*.

Em adição, é possível observar na Figura 44 que a arquitetura instanciada parcialmente foi moldada pela *Ref-mLearning* de acordo com o seu cenário de interesse e atuação (primeiro cenário - Figura 42). É possível observar na **Camada de Aplicação**, uma integração e interligação entre os: **módulo de personalização**, **módulo de adaptação ao contexto** e o **módulo educacional**; constituindo uma arquitetura parcialmente instanciada para aplicação educacional adaptada ao contexto dos seus usuários. Ou seja, a arquitetura poderá ser utilizada como molde para a elaboração e entendimento de diferentes sistemas educacionais móveis com foco na adaptação ao contexto dos seus participantes, podendo conter interesses e direcionamentos distintos, como, por exemplo, educação a distância, ensino presencial, treinamentos corporativos, simuladores, sistemas avaliativos, entre outros contextos.

Em uma outra linha de pensamento, para demonstrar a especialização completa tendo como base o uso da *Ref-mLearning*, o segundo cenário (Figura 43) foi instanciado em uma arquitetura concreta utilizando os requisitos e visões arquiteturais definidas ao longo da *Ref-mLearning*, possibilitando assim demonstrar a viabilidade da *Ref-mLearning*, juntamente com a implementação de um protótipo funcional. A escolha do segundo cenário, deve-se ao fácil acesso e possibilidade de utilização do protótipo na prática, em disciplinas de graduação.

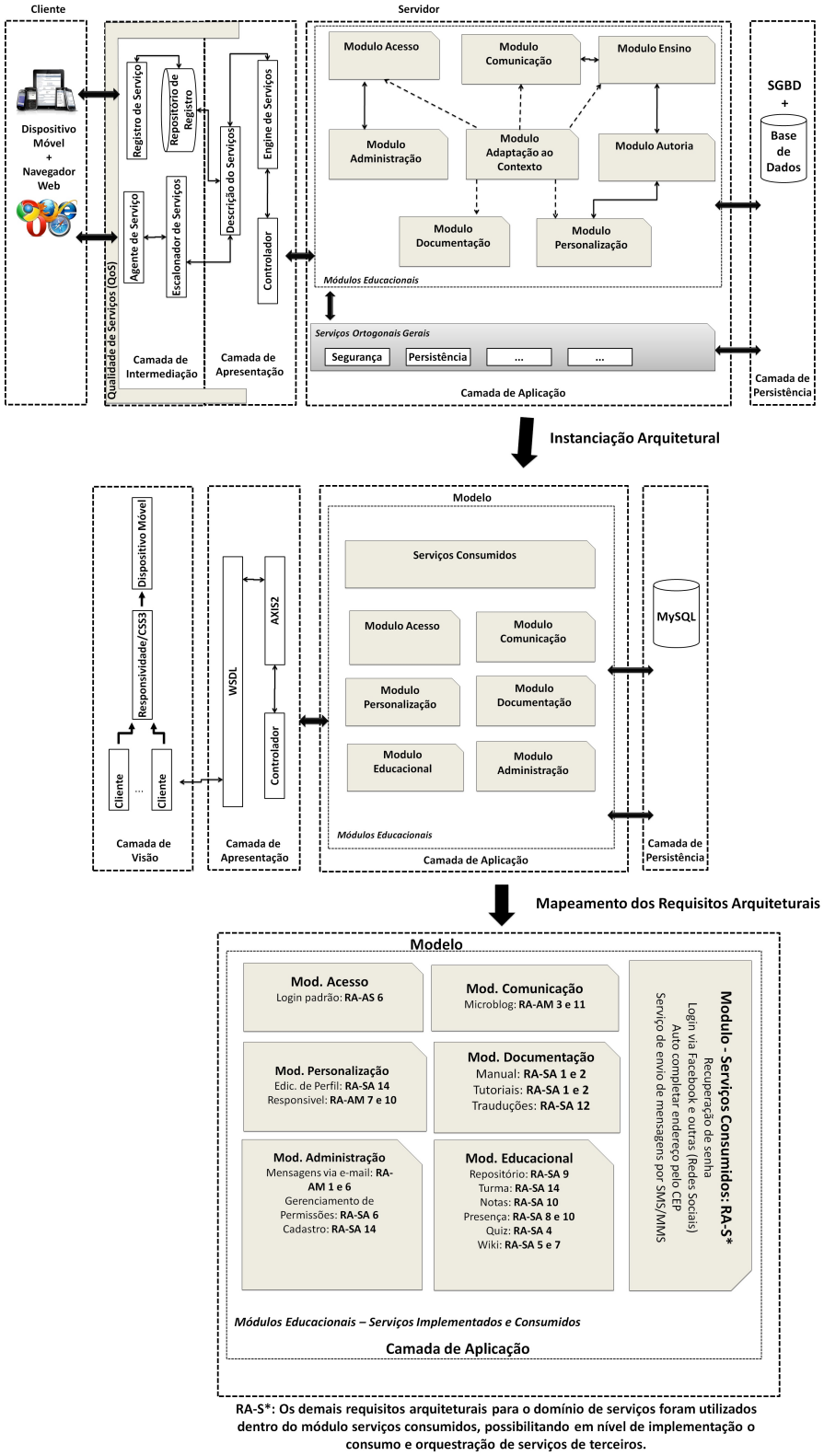
Para dar continuidade ao processo de instanciação arquitetural do segundo cenário, na Figura 45 tem-se a especialização completa da arquitetura *Ref-mLearnig* em relação ao cenário de aplicação. Possuindo uma arquitetura concreta que leva detalhes tecnológicos e descrições mais técnicas.

Na Figura 45, é possível verificar o detalhamento do modelo da **Camada de Aplicação**, em que são definidos os serviços que foram consumidos e implementados, sendo mapeados com os requisitos arquiteturais da *Ref-mLearning*. É preciso destacar que não é necessário a utilização na prática de todos os requisitos arquiteturais, isso dependerá diretamente da definição do cenário de aplicação.

Os requisitos arquiteturais foram identificados por meio das necessidades dos *stakeholders* e da viabilidade de aplicação prática do cenário apresentado (segundo cenário). Não existe uma definição de quantos e quais requisitos arquiteturais devem ser utilizados, isso fica na responsabilidade do projetista juntamente com o apoio de um especialista da área.

Dando continuidade ao processo de avaliação da arquitetura de referência, na próxima seção, será discutida a implementação da arquitetura concreta da Figura 45, permitindo verificar na prática se, com base na *Ref-mLearning*, é possível se chegar a um produto final, na forma de um ambiente de aprendizagem móvel orientado a serviço.

Figura 45 – Especialização da Arquitetura Concreta: Segundo Cenário



Fonte: Elaborada pelo autor.

6.3 Instanciação do ambiente ICMC MLE

Nesta seção, tendo como base o segundo cenário definido na seção anterior e utilizando a arquitetura concreta instanciada da *Ref-mLearning*, é discutida a implementação de um protótipo de um ambiente de aprendizagem móvel, denominado ICMC MLE. A implementação do protótipo é fundamental na avaliação da arquitetura proposta pois possibilita sua aplicação na prática, principalmente em relação ao consumo e implementação de serviços, proporcionado maior interoperabilidade e reúso aos serviços educacionais.

Outro objetivo importante desta implementação foi a verificação em relação à flexibilização por parte do consumo e integração de diferentes serviços, sendo eles educacionais ou gerenciais. Ressalta-se que o protótipo, além de ser implementado com base nas práticas de SOA, utilizou em seu desenvolvimento o conhecimento disponibilizado pelos requisitos arquiteturais juntamente com as diretrizes e estrutura da arquitetura *Ref-mLearning*.

Na Tabela 18 são mostradas as funcionalidades do protótipo. Na tabela também são ilustrados os serviços que foram implementados em conjunto com os serviços (de terceiros) que foram consumidos e incorporados no protótipo.

Tabela 18 – Funcionalidades/Serviços implementados e consumidos em relação ao protótipo.

Implementado	**Consumindo de terceiros**	**Implementado como serviço**
Repositório de dados e conteúdo educacional	Recuperação de senha	Quadro de Notas
Troca de mensagens entre tutores e aprendizes	Login via Facebook e outros	Serviço de notificação por e-mail
Cadastro de novos usuários	Auto completar endereço pelo CEP	Wiki
Gerenciamento de turmas e cursos	Serviço de envio de mensagens por SMS/MMS	
Microblog para colaboração		

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os serviços desenvolvidos até o momento foram implementados de forma autocontida, seguindo os conceitos de SOA e visando o aumento da capacidade de reúso da aplicação. Todos os serviços implementados podem ser atribuídos e consumidos por outras aplicações educacionais. Adicionalmente, também foi criado um processo de negócio responsável por coordenar a interação entre os serviços desenvolvidos e consumidos.

Os conceitos relacionados ao contexto de serviços foram mapeados segundo a tecnologia WSDL[1]. Para que as descrições de serviços pudessem ser construídas de maneira produtiva, o AXIS2[2] foi utilizado como *Engine dos serviços*. Ressalta-se, também, que o principal foco deste estudo de caso é evidenciar a viabilidade da implementação e consumo de serviços educacionais,

[1] http://www.w3schools.com/xml/xml_wsdl.asp
[2] http://axis.apache.org/axis2/java/core/

verificando a sua integração em um ambiente de aprendizagem móvel real. É importante destacar que as interações entre os serviços foram realizadas de maneira direta, sendo previamente conhecidos os endereços dos serviços utilizados, não necessitando, portanto, da implementação de uma *Camada de Intermediação*. Além disso, a implementação da *Camada de Qualidade de Serviços* (QoS) não foi considerada durante o estudo de caso, sendo que o tratamento da qualidade foi realizado de modo simples, por meio de tratamentos de exceções e condicionais.

Tendo como base o cenário 2 da seção anterior, os autores tiveram como objetivo principal definir e desenvolver um protótipo que permitisse um ambiente de aprendizagem móvel focado em comunicação e colaboração, facilitando a troca de mensagens entre tutores, professores e alunos, aumentando a colaboração entre os usuários em relação a execução de atividades pedagógicas.

Na Figura 46-(a) é ilustrada a página inicial do ambiente, no qual o usuário pode realizar seu *login* e autenticação. Na Figura 46-(b) é exibida a página da conta do usuário, representando todas as informações do usuário. Na Figura 46-(c) é exemplificado o recurso de mensagens, provendo canais de comunicação entre aprendizes, tutores e professores. Na Figura 46-(d) é representado um recurso de *microblog*, substituindo um fórum convencional. A ideia é proporcionar uma melhor comunicação e colaboração entre alunos e tutores/professores no contexto da aprendizagem móvel, facilitando as práticas e atividades educativas. Cada disciplina ou curso tem seu próprio *microblog*.

Na Figura 46-(e) é mostrada a página do curso/disciplina. A partir desta página, o usuário pode acessar diversos recursos como, por exemplo, repositório, participantes e *microblog*. O tutor/professor também pode alterar as configurações ou até mesmo apagar o curso/disciplina. Cada curso/disciplina tem o seu próprio repositório, mostrado na Figura 46-(f).

Para o desenvolvimento do *front-end* do protótipo foi adotado o *Bootstrap*[3], um dos *frameworks* de *HTML5*[4] , *CSS3*[5] e *JavaScript*[6], mais populares para o desenvolvimento de projetos web responsivos. De modo geral, o *framework* permite uma visualização em telas de tamanhos diferentes (Figura 47) com um único código-fonte, facilitando a utilização do protótipo em diferentes dispositivos móveis com tamanhos diferentes.

Além da utilização do CSS3, HTML5 e *JavaScript*, outras tecnologias web também foram utilizadas para a implementação do protótipo. Para o *back-end*, um *framework* de PHP com base no padrão MVC (*Model-View-Controller*), denominado *CodeIgniter*[7], foi utilizado para auxiliar no desenvolvimento das regras de negócios, facilitando o acesso à base de dados, manipulação de dados, documentação, tratamento de transações e segurança.

[3] http://www.w3schools.com/bootstrap/
[4] http://www.w3schools.com/html/html5_intro.asp
[5] http://www.w3schools.com/css/css3_intro.asp
[6] http://www.w3schools.com/js/
[7] https://www.codeigniter.com/

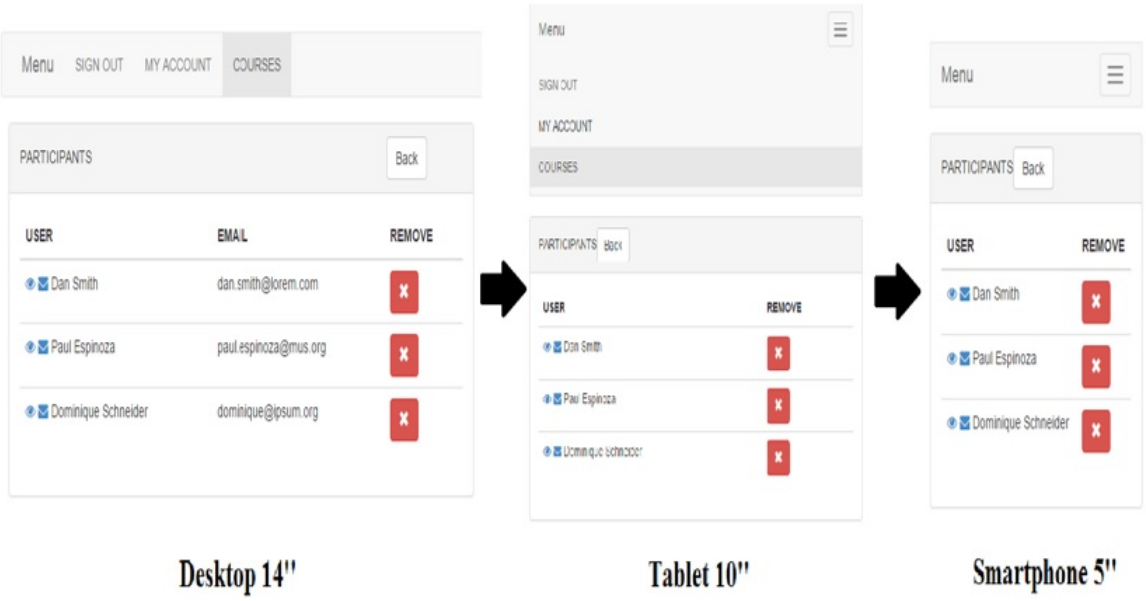
Figura 46 – Protótipo ICMC MLE: Visão Geral.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Web Services também foram implementados utilizando o *CodeIgniter*, porém, o desenvolvimento seguiu as boas práticas da arquitetura REST[8] (*Representational State Transfer*). Os tipos de retorno dos Web Services são do tipo XML[9] (*eXtensible Markup Language*) e JSON[10] (*JavaScript Object Notation*), um formato de intercâmbio de dados leve e de fácil leitura e entendimento por parte de analistas e *paser* de máquinas.

8 http://rest.elkstein.org/
9 http://www.w3schools.com/xml/
10 http://www.json.org/

Figura 47 – Design responsivo do protótipo ICMC MLE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

6.4 Estudo Experimental do Ambiente ICMC MLE

No decorrer do trabalho, algumas avaliações preliminares da *Ref-mLearning* demonstraram que a arquitetura proposta possui uma boa organização (estrutural e comportamental) e funcionalidade aceitáveis para os aspectos e diretrizes pedagógicas em relação a um contexto educacional. Essas validações foram realizadas em três momentos: (1) comparou-se a arquitetura *Ref-mLearning* com um modelo de referência, verificando a presença e relevância de determinados requisitos arquiteturais; (2) por meio de um questionário, especialistas da área (arquitetos, professores e pesquisadores) verificaram as funcionalidades e os aspectos educacionais presentes na arquitetura do ambiente; (3) definição de uma arquitetura concreta e instanciação do ambiente ICMC MLE. No entanto, nenhuma validação prática com aprendizes foi realizada frente ao ambiente implementado, visando avaliar a sua aplicabilidade e aceitação dos aprendizes frente a um contexto real de ensino e aprendizagem.

Esta seção descreve um experimento envolvendo a utilização do ambiente ICMC MLE no contexto do ensino presencial em nível de graduação. Os resultados e análises obtidos pelo experimento permitem avaliar a aplicabilidade prática do ambiente juntamente com a sua aceitação em um contexto real, bem como descrever as principais experiências, benefícios e dificuldades indicados pelos aprendizes em relação à utilização do ambiente.

Para a realização deste experimento, de modo padronizado, foram utilizadas diretrizes do método GQM (*Goal/Question/Metric*) (BASILI; CALDIERA; ROMBACH, 1994), seguindo as seguintes metas:

- *Objeto de estudo*: a aplicabilidade do ambiente ICMC MLE no contexto educacional frente a alunos de graduação;
- *Propósito*: avaliação do ambiente ICMC MLE;
- *Foco*: percepção dos alunos na realização de atividades educacionais;
- *Perspectiva*: acadêmica;
- *Contexto*: alunos de graduação.

A partir destas metas, com o intuito de nortear o experimento, questões de pesquisa foram propostas:

- *Questão 1*: A utilização do ambiente ICMC MLE ajuda/apoia o ensino e aprendizagem em cursos/disciplinas presenciais?
- *Questão 2*: As funcionalidades do ambiente ICMC MLE são de fácil utilização, facilitando o acesso, comunicação e colaboração entre aprendizes?
- *Questão 3*: Os aprendizes preferem utilizar um ambiente educacional móvel a um ambiente de aprendizagem tradicional?

Com os objetivos e métricas já definidos, foram estabelecidas as hipóteses de pesquisa, que foram confrontadas ao final do experimento:

- H0: O ambiente ICMC MLE **não** pode ser utilizado como ferramenta de apoio educacional em cursos presenciais de graduação.
- H1: O ambiente ICMC MLE pode ser utilizado como ferramenta de apoio educacional em cursos presenciais de graduação.

Para conseguir avaliar qual das hipóteses é verdadeira, foram consideradas as seguintes variáveis ao longo do experimento:

- *Variáveis Dependentes*: satisfação dos participantes; percepção dos participantes; e porcentagem de realização das atividades educacionais.
- *Variáveis Independentes*: atividades propostas; experiência dos alunos; ambiente educacional (móvel/tradicional); professor e disciplina do curso presencial; e ambiente de trabalho.

Para a realização do experimento foram convidados estudantes de graduação dos cursos tecnológicos de Sistemas para Internet e de Ciência da Computação, cujo o objetivo foi realizar e executar tarefas educacionais (leitura de documentos, colaboração e discussão em *microblogs*, execução de *quizz* e simulados, entre outras) dentro de um cenário real de uma aula presencial por meio do ambiente ICMC MLE, utilizando dispositivos móveis. Ao final, os estudantes responderam um questionário de satisfação sobre a utilização do ambiente. Uma vez que os participantes possuem experiências diferentes em relação a ambiente virtuais de ensino, a variável "experiência" precisa ser tratada e evidenciada ao longo do experimento. Neste sentido, procurou-se formar um grupo de estudantes com experiências balanceadas, tendo como pré-requisitos que os estudantes tivessem conhecimento sobre ambientes de aprendizagem.

6.4.1 Instrumentação

Para a realização deste experimento foram utilizados diferentes artefatos como forma de instrumentação. Em um primeiro momento, o ambiente ICMC MLE foi colocado em um servidor *online*, permitindo que diferentes usuários, principalmente os aprendizes, pudessem realizar o seu acesso e *login* pela web, em qualquer momento e em qualquer local.

Os aprendizes puderam acessar o ambiente com o dispositivo móvel de sua escolha, podendo ser um *tablet*, um *smartphone*, um notebook, entre outros. Ressalta-se que o acesso poderia ser realizado até mesmo via um *desktop* convencional, visto que o ICMC MLE é um ambiente responsivo. Os aprendizes realizaram o acesso utilizando o seu dispositivo próprio, porém um laboratório possuindo tais dispositivos foi disponibilizado aos alunos no caso de não possuírem dispositivos móveis para a realização do experimento.

Também foram preparados materiais impressos, específicos para a condução do experimento com o ambiente ICMC MLE. O primeiro material, o roteiro do experimento, foi entregue para cada participante ao início do experimento, tendo como objetivo auxiliar os participantes na realização das atividades, possuindo as seguintes diretrizes: (1) url de acesso do ambiente; (2) objetivo do experimento; (3) duração das atividades; e (4) descrição das atividades a serem realizadas. Alguns materiais educacionais digitais também foram utilizados para auxiliar na execução das atividades. Estes materiais (artigos, *slides*, apostilas) foram inseridos no ambiente para reproduzir na prática uma atividade educacional. No experimento em questão, foram utilizados documentos relacionados à "Hipermídia e Multimídia" e "Engenharia de Software", pois eram relacionados com as disciplinas dos cursos em questão.

As instâncias do experimento foram aplicadas individualmente em relação a cada participante. Para coletar os dados e a percepção dos aprendizes frente a utilização do ambiente ICMC MLE, um questionário *online* foi desenvolvido, possibilitando aos usuários do experimento preenchê-lo após a realização das atividades. O questionário também foi elaborado de forma a coletar informações específicas relacionadas às experiências dos participantes. O questionário aplicado ao final do experimento teve como objetivo geral avaliar a satisfação dos mesmos,

juntamente com aspectos específicos da avaliação do experimento.

6.4.2 Procedimentos

Os procedimentos realizados ao longo de todo o experimento foram divididos em: (1) planejamento; (2) treinamento; (3) execução; e (4) análise.

Planejamento: na fase inicial, o planejamento para um experimento é fundamental para garantir que os resultados do experimento sejam válidos. Nesta fase, foram definidos os objetivos, questões, metas, procedimentos, variáveis, riscos à validade, entre outros aspectos que possibilitam um bom andamento a todo o experimento.

Treinamento: Esta fase de treinamento teve por objetivo garantir que os participantes estivessem familiarizados com o ambiente, atividades, artefatos e métodos considerados no experimento. O treinamento consistiu em: (1) demonstração do ambiente ICMC MLE, exemplificando as suas funcionalidades educacionais e aplicação prática; e (2) realização de uma atividade similar, podendo assim sanar algumas dúvidas com o instrutor do experimento. Após isso, ao longo do experimento os participantes não puderam tirar dúvidas e nem recorrer à ajuda do instrutor. Ressalta-se que os aprendizes, após o treinamento, receberam um roteiro impresso com as principais instruções e atividades a serem executadas no ambiente. O treinamento foi planejando para ser executado no tempo máximo de 20 minutos. Testes pilotos também foram realizados, nos quais os dados foram desconsiderados dos resultados finais.

Execução: A fase de execução consistiu em realizar algumas tarefas educacionais por meio do ambiente de aprendizagem móvel ICMC MLE: (1) acessar e realizar a leitura de documentos e materiais educacionais, vinculados com as disciplinas em questão (ressalta-se que na ocasião foram utilizados materiais da disciplina de Engenharia de Software e Hipermídia e Multimídia); (2) colaborar e realizar discussões sobre um tema específico da disciplina por meio de um *microblog* (possuindo familiaridade com uma rede social); e (3) realizar testes e simulados para fixação do conhecimento. Os testes e simulados também proporcionaram, após o término da sua realização, um *feedback* específico dos erros e acertos com justificativas dos mesmos. Por fim, ao término da execução das atividades educacionais, os aprendizes responderam a um questionário *online*, de modo a obter informações dos participantes sobre suas experiências, opiniões e sugestões com relação à aplicabilidade e utilização do ambiente ICMC MLE.

Análise: Nesta fase, métodos estatísticos foram utilizados para analisar os dados, de modo que os resultados e conclusões não sejam subjetivos. Ressalta-se que na análise dos dados somente os dados referentes à fase de execução foram considerados.

6.4.3 Execução do Experimento

Toda a experimentação foi realizada com dois grupos de alunos, sendo conduzida com alunos do curso Tecnológico de Sistema para Internet do IFSP (Instituto Federal de São Paulo -

campus São João da Boa Vista), e com alunos do curso de Ciência da Computação da ICMC-USP - São Carlos, cursando as disciplinas de Hipermídia e Multimídia e Engenharia de Software, respectivamente.

Inicialmente foi realizado um treinamento por meio da demonstração das funcionalidades do ambiente, juntamente com alguns conceitos básicos e as atividades exemplos que seriam realizadas posteriormente. Participaram no total, 55 aprendizes, sendo 24 da disciplina de Hipermídia e Multimídia e 31 da disciplina de Engenharia de Software.

O experimento com os aprendizes foi aplicado em uma semana, sendo conduzido com toda a turma de aprendizes de uma única vez, simulando uma aula real. Cada aprendiz teve um tempo estimado de uma semana para a realização das atividades educacionais com o auxílio do ambiente ICMC MLE. Os aprendizes, após o treinamento, receberam do avaliador um formulário impresso com o roteiro das atividades a serem executadas e uma breve descrição. Ressalta-se que as mesmas informações foram passadas ao longo do treinamento pelo avaliador do experimento.

Ao longo de todo o experimento, os aprendizes realizaram três tipos de atividades relacionadas ao contexto educacional, tendo como apoio o ambiente ICMC MLE, sendo relacionadas com: (1) acesso à documentação e material didático; (2) colaboração e comunicação entre os aprendizes; e (3) fixação e *feedback* do conhecimento adquirido. O resumo da descrição destas atividades pode ser visualizado nas Figuras 48, 49 e 50.

A Atividade 1 (Figura 48) teve por objetivo fazer com os aprendizes acessassem o material didático da disciplina via o ambiente ICMC MLE, verificando se tal atividade, rotineira nos ambientes educacionais, poderia ser realizada com facilidade por meio de um dispositivo móvel e um ambiente de aprendizagem móvel.

Figura 48 – Atividade 1 - Leitura.

Tarefa 1 - Leitura do texto/artigo

Um arquivo .pdf será inserido no repositório do ambiente educacional ICMC MLE

Tema do artigo: “Uma Abordagem de Avaliação de Qualidade de Aplicações Web”

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Atividade 2 (Figura 49) refere-se à capacidade do ambiente ICMC MLE possibilitar uma fácil e flexível comunicação em relação aos seus usuários. Sendo um ambiente de aprendizagem móvel, o mesmo utiliza-se de uma ferramenta de *microblog* para a realização das comunicações. Nesta atividade, esperava-se que os aprendizes pudessem utilizar de maneira intuitiva o *microblog* (similar a uma rede social) realizando uma pequena discussão sobre um dos tópicos da disciplina.

Na Atividade 3 (Figura 50), o objetivo foi verificar se o ambiente ICMC MLE conseguia apoiar a fixação do conhecimento adquirido pelos aprendizes e também retornar um *feedback*

Figura 49 – Atividade 2 - Discussão.

Tarefa 2 – Discussão no Microblog

Após a leitura do texto (Tarefa 1), faça:

"Tendo como base os atributos de qualidade interna e externa da norma ISO 9126, indique qual(is) critério(s) são mais difíceis de serem avaliados na prática. Explique. Utilize a sua experiência de programador/desenvolvedor para fazer a discussão"

Obs: Será criado um fórum específico no ICMC MLE para a realização desta discussão.

Fonte: Elaborada pelo autor.

sobre erros e acertos. Para isso, os aprendizes realizaram no ambiente um *quizz* avaliativo com quatro questões, recebendo após a realização do mesmo um *feedback* sobre erros e acertos cometidos.

Figura 50 – Atividade 3 - *Quizz*.

Tarefa 3 – Fixação do conhecimento

Os alunos, após a realização das tarefas anteriores, deverão responder 4 questões referentes ao tema proposto. O questionário estará disponível no ICMC MLE (Localizado no Quizz da turma – Engenharia de Software). Os alunos terão um *feedback* imediato dos acertos e erros, juntamente com justificativas.

Fonte: Elaborada pelo autor.

6.4.4 Análise dos Resultados

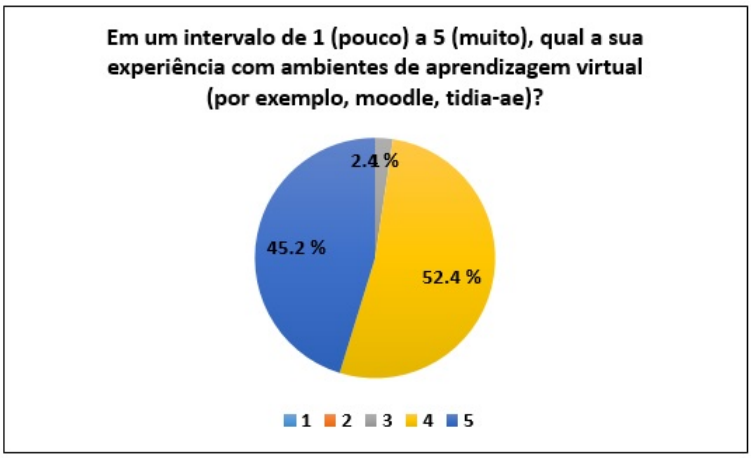
Nesta fase foi utilizada a análise descritiva dos dados, tendo como técnicas o uso de medidas estatísticas descritivas e também a análise gráfica. A utilização da estatística descritiva é útil para descrever características relevantes dos dados obtidos ao longo do experimento. Sua principal finalidade é tentar identificar tendências centrais das variáveis utilizadas, juntamente com os seus tratamentos, nível de dispersão, identificação de pontos fora da curva (conhecidos como *outliers*) e identificação de correlações entre as variáveis (JURISTO; MORENO, 2013).

As métricas identificadas para avaliar a aceitação do uso do ambiente ICMC MLE pelos alunos foram coletadas por meio de formulários *online*, sendo analisadas e calculadas posteriormente pelos avaliadores do experimento, tendo ajuda de um especialista da área na avaliação dos resultados finais. Em adição, na fase de análise dos dados, também foram levados em consideração os dados obtidos nos questionários de participação e satisfação, tendo como objetivo analisar o perfil e experiências dos alunos, além de identificar sugestões e críticas em relação ao experimento e ao próprio ambiente ICMC MLE.

6.4.5 Experiência dos Participantes

Um ponto importante do experimento é conhecer os participantes em relação ao seu nível de experiência com o contexto de aplicação do experimento, analisando e verificando se pode ou não ter havido alguma influência sobre os dados finais. A Figura 51 sintetiza as características dos participantes em relação a sua experiência com ambientes de aprendizagem virtual.

Figura 51 – Experiência dos alunos participantes.



Fonte: Elaborada pelo autor.

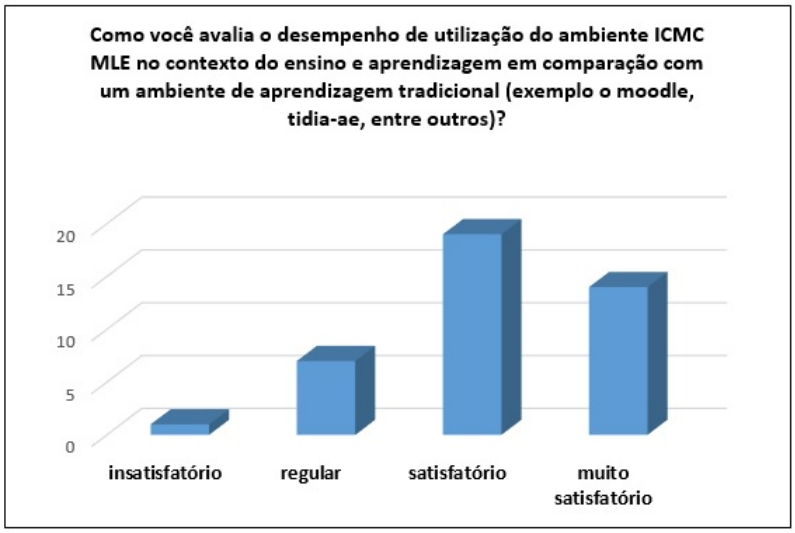
Pela Figura 51, nota-se que a maioria dos participantes possui uma experiência alta (níveis 4 e 5) em relação a ambientes de aprendizagem.

6.4.6 Satisfação do ICMC MLE

Em relação aos dados obtidos pelos questionários, também foi possível analisar a satisfação dos participantes em relação à utilização prática do ambiente ICMC MLE. Os alunos participantes deram uma resposta positiva ao seu uso onde, de modo geral, indicaram que o ambiente pode ser utilizado na prática, no cotidiano dos alunos em relação ao apoio a disciplinas de cursos presenciais, possibilitando maior comodidade e flexibilidade ao acesso e a sua utilização. De acordo com as figuras 52 e 53, é possível verificar que o ambiente possuiu uma boa aceitação em relação a sua utilização.

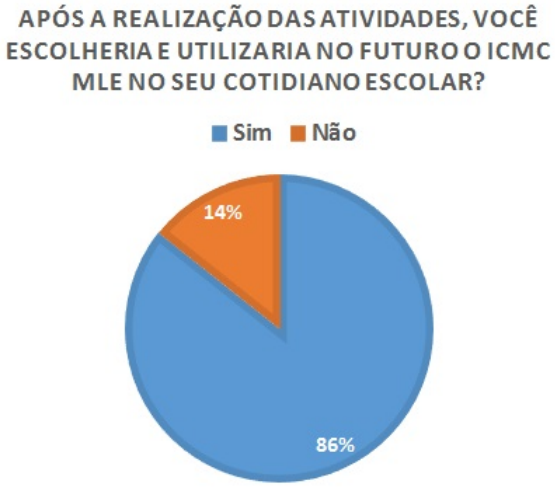
Os participantes também destacaram pontos positivos do aplicativo em relação à facilidade de uso e conveniência de um dispositivo móvel; e funcionalidades que apoiam diretamente as atividades educacionais, relacionadas à notificação, colaboração/comunicação e *feedback* educacional. Também são destacados pontos positivos em relação: (1) projeto fácil e interativo; (2) funções claras e intuitivas; (3) ambiente leve em relação ao processamento; (4) adequação ao contexto da aprendizagem móvel; e (5) conjunto de funcionalidades educacionais que auxiliam os aprendizes.

Figura 52 – Satisfação dos participantes em relação ao ICMC MLE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 53 – Aceitação de utilização prática em relação ao ICMC MLE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

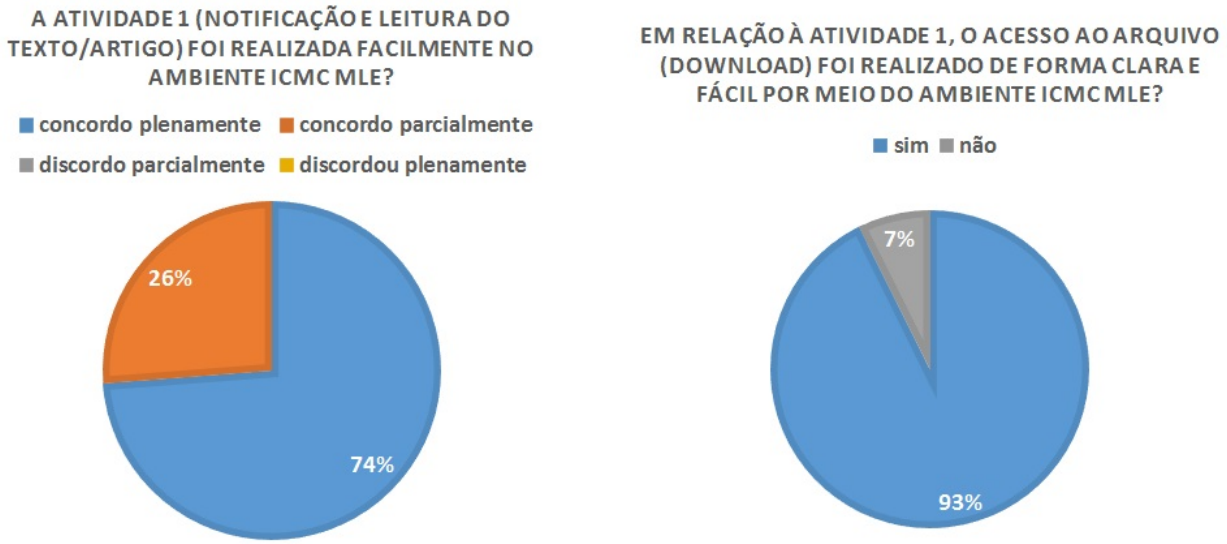
De modo geral, em relação a aspectos negativos, os participantes apontaram falhas e melhorias em relação a: (1) reestruturar o *microblog* em "categorias e tópicos", possibilitando uma pesquisa nos tópicos; (2) organizar o layout do *microblog* de modo similar a de uma rede social; (3) permitir mensagens privadas no *microblog*; (4) enviar avisos e notificações via SMS; (5) incorporar funcionalidades de auto-completar as mensagens (similar aos aplicativos nativos); e (6) disponibilizar o ambiente para sistemas nativos como *Android* e *iPhone*.

6.4.7 Cobertura e notas em relação às atividades executadas

Nesta seção é discutida a satisfação dos participantes em relação às atividades executadas pelo ambiente ICMC MLE. A ideia é avaliar o desempenho do ambiente de aprendizagem móvel frente a atividades cotidianas dos aprendizes. A satisfação dos aprendizes foi calculada por meio de alternativas de múltipla escolha indicadas pelos participantes após a realização das atividades. Ressalta-se que, além dos questionários de múltipla escolha, os participantes tiveram acesso a um "campo descritivo", onde poderiam relatar pontos positivos e negativos em relação à execução das atividades. As figuras 54, 55 e 56 mostram os resultados desta análise.

É possível observar pela Figura 54 que a Atividade 1, relacionada com o acesso e notificação de documentos e arquivos educacionais (relevantes ao contexto de cursos e disciplinas presenciais), foi executada e percebida com facilidade pelos aprendizes por meio do ambiente de aprendizagem móvel. Pode-se notar que a maioria conseguiu executar a atividade, destacando críticas (positivas e negativas) em relação aos mecanismos e funcionalidades desta atividade, proporcionando maior comodidade e flexibilidade ao contexto dos aprendizes.

Figura 54 – Resultados da análise da Atividade 1.

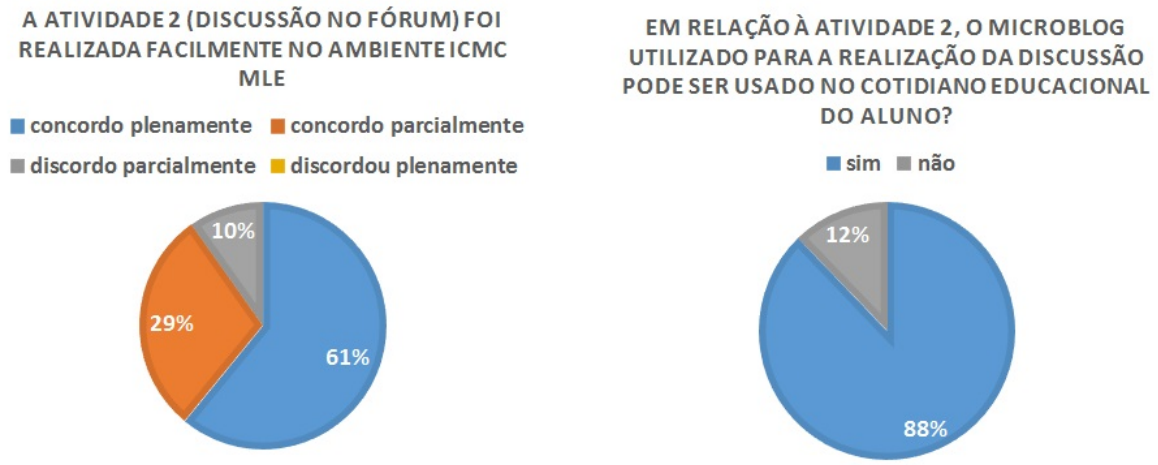


Fonte: Elaborada pelo autor.

Em relação à Atividade 2 (comunicação e discussão via um *microblog* - Figura 55, diferentemente da Atividade 1, é possível verificar uma pequena porcentagem de participantes que indicaram um "desacordo parcial" em relação à facilidade de executar tal atividade. Mesmo sendo uma porcentagem pequena, é importante ressaltar que os comentários indicaram uma falta de familiaridade com essa forma de comunicação via *microblog*. Apesar de ser semelhante a de uma rede social, muitos alunos não estavam habituados, tendo maior familiaridade com fóruns tradicionais.

Apesar desta observação, a maioria dos aprendizes conseguiram colaborar, com discussões em relação ao tema da disciplina em questão (Figura 55).

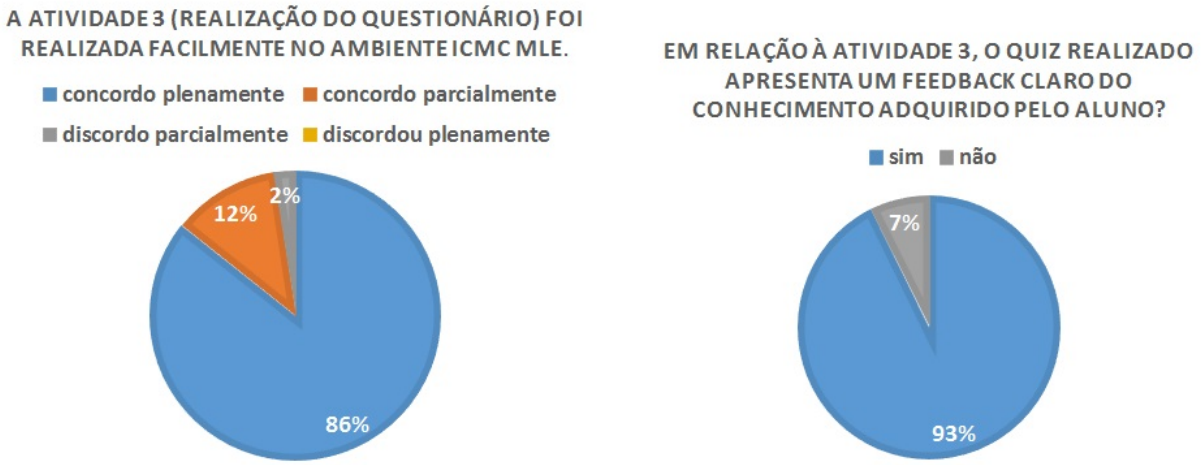
Figura 55 – Resultados da análise da Atividade 2.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Por fim, é possível verificar pela Figura 56 que também houve facilidade e aceitação em relação à Atividade 3, relacionada principalmente com o *feedback* educacional dos aprendizes, realizado por meio de *quizzes* e simulados. Nesta atividade foram destacados alguns comentários positivos e negativos dos participantes, ressaltando a importância de se ter uma funcionalidade flexível e que ao mesmo tempo possibilitasse realizar a incorporação do conhecimento de forma fácil e rápida.

Figura 56 – Resultados da análise da Atividade 3.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Por meio das análises obtidas, é possível concluir que as atividades propostas para serem executadas com o auxílio do ambiente ICMC MLE foram realizadas com sucesso pelos aprendi-

zes. Em sua maioria, os participantes do experimento destacaram facilidades e comodidades na realização das atividades, ressaltando também aspectos positivos e negativos em relação a sua execução.

Por fim, mediante os resultados obtidos, é possível concluir que o ambiente ICMC MLE pode ser utilizado como forma de apoio ao ensino presencial, possuindo aspectos relacionados à notificação, acesso, colaboração, comunicação e *feedback* de conhecimento em relação as práticas educacionais.

6.4.8 Riscos à Validade do Experimento

O projetista do experimento deve identificar e entender os riscos em relação à validade dos seus experimentos. Esta identificação é importante, pois permite um maior entendimento sobre os erros que podem ser cometidos (JURISTO; MORENO, 2013). Nesta seção destacam-se os riscos: à validade interna, à validade externa, e à validade da construção.

Riscos à validade interna:

- Aprendizagem: a utilização do ambiente de aprendizagem móvel ICMC MLE pode não ser totalmente intuitiva. Para minimizar esta problemática, houve uma preocupação de planejar e executar um treinamento com os participantes antes da execução do experimento. Em complementação, todo o material utilizado foi revisado e distribuído aos participantes, garantindo assim, o recebimento de todas as instruções necessárias para a utilização do ambiente e realização do experimento.

- Conformidade com o estudo original: podem ter existido discrepâncias entre a fase de planejamento e a etapa de execução do experimento. Neste sentido, houve uma preocupação em se definir cuidadosamente o tempo de treinamento, atividades atribuídas aos participantes, número de participantes, entre outros atributos. Em adição, houve também a realização de um estudo piloto, proporcionando evidenciar melhorias em relação ao planejamento e execução do experimento.

- Idioma: o ambiente e todo o material disponível para a aplicação do experimento (formulários, slides, notas de aula e apostilas) foram escritos em português. A ausência do idioma inglês pode prejudicar a replicação e publicações dos resultados em um contexto internacional. No entanto, até o presente momento parte do ambiente já foi traduzido para o idioma inglês, faltando algumas adaptações na tradução do material de aplicação do experimento.

Riscos à validade externa:

- Local do experimento: o ambiente físico deve ser adequado para o experimento, necessitando da presença de dispositivos móveis para a sua realização. Para isso, parte experimento foi realizado em um laboratório sem interferência externa e devidamente equipado com computadores e dispositivo móveis com acesso à Internet; a outra parte foi realizado a distância, por meio do acesso a um servidor específico do ambiente ICMC MLE.

- A experiência dos participantes: o nível de experiência dos participantes poderia influenciar negativamente na realização do experimento. Antes da execução do experimento, os avaliadores identificaram turmas de alunos que já possuíam experiências na utilização de ambientes virtuais de ensino, permitindo assim, ter um grupo homogêneo em relação à experiência de utilização.

- Número de participantes: o número de participantes do experimento é relativamente pequeno. Apesar do número pequeno de participantes, foi possível a sua aplicação com duas turmas distintas o que permitiu a verificação da convergência dos dados, fornecendo indícios da viabilidade de aplicação do protótipo ICMC MLE. Além disso, pretende-se planejar outros experimentos, em curto prazo, com uma quantidade maior de aluno e com turmas diferentes.

6.4.9 Considerações Finais

Este capítulo teve como intuito complementar a avaliação da *Ref-mLearning*, possibilitando por meio de uma instanciação arquitetural, a implementação de um protótipo de um ambiente de aprendizagem móvel orientado a serviços e consequentemente uma avaliação prática em um contexto real de ensino e aprendizagem.

Em um primeiro momento foi demonstrada a importância e a capacidade da *Ref-mLearning* em definir diferentes cenários de aplicação, sendo relevantes ao contexto da aprendizagem móvel. Cada cenário foi proposto tendo como base uma problemática educacional, fazendo com que o ambiente de aprendizagem móvel possa ajudar no dia a dia dos aprendizes, tutores e professores. Utilizando a *Ref-mLearning*, cada cenário definido, independentemente da sua variabilidade, pode ser decomposto em uma instanciação arquitetural (criação de uma arquitetura concreta) seguindo os preceitos dos requisitos arquiteturais presentes na arquitetura de referência.

Uma das premissas básicas de uma arquitetura de referência é auxiliar a instância de uma arquitetura concreta proporcionando também um vocabulário comum ao sistema que será desenvolvido. Para isso, também foi implementado um ambiente de aprendizagem móvel orientado a serviços (ICMC MLE), tendo como base a instância da arquitetura concreta. Todo o desenvolvimento foi orientado por meio dos requisitos arquiteturais da *Ref-mLearning*, seguindo algumas técnicas e requisitos de SOA, possibilitando a implementação de serviços educacionais

e gerenciais, juntamente com o consumo de serviços de terceiros, permitindo um maior reúso e interoperabilidade para o ambiente educacional.

Ainda neste capítulo, foi planejada a execução de um experimento tendo como objeto de estudo o ambiente ICMC MLE, sendo aplicado diretamente em relação a alunos de graduação. O experimento teve como objetivo verificar a aplicabilidade prática do ICMC MLE, juntamente com a análise da percepção dos alunos frente a utilização de um ambiente de aprendizagem móvel real. Os resultados coletados e analisados por meio da experimentação demonstram que o ambiente conseguiu suprir as necessidades básicas dos aprendizes (possuindo uma boa percepção de uso), atuando eficientemente como forma de apoio a um curso presencial, apoiando a realização de atividades educacionais principalmente na colaboração e troca de mensagens entre os usuários do ambiente.

No próximo capítulo será apresentada uma visão geral da pesquisa realizada, juntamente com as principais contribuições deste trabalho de doutorado, as principais linhas de pesquisa futuras e as publicações associadas, resultantes deste trabalho.

CAPÍTULO

7

CONCLUSÃO

7.1 Considerações Iniciais

Este capítulo apresenta uma visão geral do trabalho realizado, destacando as perspectivas futuras de pesquisa e as principais contribuições em função da proposta e elaboração da *RefmLearning*, uma arquitetura de referência orientada a serviços para ambientes de aprendizagem móvel.

7.2 Visão Geral da Pesquisa Realizada

A aprendizagem móvel (*mobile learning*) (KUKULSKA-HULME; SHARPLES, 2015) surgiu como uma nova modalidade da educação virtual, acontecendo quando a interação entre os participantes se dá por meio de dispositivos móveis. Esta nova modalidade de ensino tem proporcionado uma grande expectativa no âmbito educacional, sobretudo devido aos benefícios e flexibilidade proporcionados ao ensino e treinamento.

Muitas organizações e indústrias vêm utilizando ambientes de aprendizagem móvel para as práticas de ensino. Apesar dos benefícios existentes em sua utilização, tais ambientes apresentam alguns inconvenientes, como por exemplo (MINOVIC *et al.*, 2008): (1) o tamanho da tela limitado; (2) métodos de entrada limitados; (3) a falta de padrão entre os diversos dispositivos móveis; (4) inadequação dos atuais modelos de usabilidade; (5) ausência de padrões arquiteturais; entre outros.

Diferentes fatores estão envolvidos no desenvolvimento de um ambiente de aprendizagem móvel, os quais devem levar em consideração, além de aspectos técnicos, componentes educacionais, atributos de computação ubíqua, critérios de usabilidade móvel, entre outros (ECONOMIDES, 2008).

Tais aspectos podem ser representados por meio de um vocabulário comum, podendo ser organizados por meio de uma arquitetura de referência. Nesse contexto, arquiteturas de referência juntamente com aspectos da arquitetura SOA (*Service Oriented Architecture*) têm ganhado grande destaque no desenvolvimento de sistemas, possibilitando a construção de ambientes de aprendizagem móvel com maior qualidade, reúso e interoperabilidade.

Considerando os aspectos e limitações discutidos, neste trabalho foram investigadas e estabelecidas informações para a proposta de uma arquitetura de referência para ambientes de aprendizagem móvel orientada a serviços, denominada *Ref-mLearning*.

Inicialmente, seguindo o processo ProSA-RA (NAKAGAWA; SASAKI; MALDONADO, 2009) (processo para elaboração de arquiteturas de referência), foi necessário a investigação e definições de características e requisitos específicos para o contexto da aprendizagem móvel. As características e requisitos identificados no catálogo além de ajudarem na concepção e desenvolvimento de novos ambientes de aprendizagem móvel, facilitam a definição de um vocabulário comum frente a este novo contexto de aprendizagem.

Seguindo as etapas do ProSA-RA, foram realizadas as etapas RA-1 "Investigação das Fontes de Informação", onde as informações identificadas e analisadas podem ser utilizadas por projetos de outras arquiteturas, principalmente no domínio educacional e orientado a serviço. Os requisitos arquiteturais da etapa RA-2 "Estabelecimento dos Requisitos Arquiteturais", constituíram também um ponto de partida para a construção de outras arquiteturas de referência orientada a serviço.

A etapa RA-3 "Projeto da Arquitetura de Referência" foi realizada com o objetivo de documentação, apresentando conceitos, descrições e os relacionamentos da arquitetura de referência. Para facilitar o entendimento da arquitetura *Ref-mLearning*, flexibilizando a troca de experiência e conhecimento, visões arquiteturais foram definidas e construídas em quatro níveis, sendo elas: (1) Visão Geral; (2) Visão de Módulo; (3) Visão em Tempo de Execução; e (4) Visão de Implantação.

Ao fim do processo, na etapa RA-4 "Avaliação da Arquitetura de Referência", objetivou-se avaliar a qualidade da arquitetura *Ref-mLearning*. Para isso, foi realizado um comparativo com um modelo de referência (RAModel) e também uma avaliação por meio de *checklist* com a ajuda de especialistas da área, ambas as avaliações são importantes pois visam a identificação de elementos relevantes para uma arquitetura de referência, juntamente com a presença de defeitos relacionados à omissão, ambiguidade, inconsistência e de informações incorretas em relação ao contexto da arquitetura proposta.

Ainda na linha da avaliação arquitetural, de forma a complementar as avaliações realizadas na *Ref-mLearning*, por meio de uma instanciação arquitetural (arquitetura concreta), foi realizada a implementação de um protótipo de um ambiente de aprendizagem móvel orientado a serviços.

Por fim, foi planejado e executado um experimento tendo como objeto de estudo o ambiente ICMC MLE, sendo aplicado diretamente em relação a alunos de graduação, tendo como objetivo verificar se o ambiente pode ser utilizado na prática e qual a percepção dos alunos na utilização de um ambiente de aprendizagem móvel.

Os resultados coletados e analisados por meio da experimentação demonstram que o ambiente conseguiu suprir as necessidades básicas dos aprendizes (possuindo uma boa percepção de uso), atuando eficientemente como forma de apoio a um curso presencial, atuando e ajudando na realização de atividades educacionais, sobretudo na colaboração e troca de mensagens entre os usuários do ambiente.

7.3 Contribuições

Podem-se destacar como principais contribuições deste trabalho:

- Proposição de um catálogo de requisitos, definindo uma hierárquica com critérios, características e requisitos relacionados ao domínio da aprendizagem móvel. As características e requisitos identificados no catálogo além de ajudarem na concepção e desenvolvimento de novos ambientes de aprendizagem móvel, facilitam a definição de um vocabulário comum frente a este novo contexto de aprendizagem.

- Caracterização do estado da arte quanto aos domínios de aplicação de ambientes de aprendizagem móvel, sendo eles: (1) Arquiteturas Concretas para Ambientes de Aprendizagem Móvel; (2) Arquiteturas Orientadas a Serviços; e (3) Modelos/Arquiteturas de Referências para o Domínio Educacional.

- Proposição de um conjunto de requisitos arquiteturais específicos para ambientes de aprendizagem móvel, sendo decompostos em três domínios específicos (educacional/-móvel/SOA). Tais requisitos, além de serem a base para a proposta da *Ref-mLearning*, proporcionando uma validação teórica em relação as principais *features*, também podem ser utilizados para a proposta de outras arquiteturas/modelos de referências frente ao contexto da aprendizagem móvel.

- Proposição de um conjunto de visões arquiteturais para a representação da *Ref-mLearning*. As visões arquiteturais são relevantes para o entendimento e definição de um vocabulário comum, visto que possibilitam representar de forma gráfica a estrutura e os relacionamentos entre os requisitos arquiteturais.

- Aplicação de um comparativo da *Ref-mLearning* com um modelo de referência (RAModel). O comparativo quantitativo ajuda a indicar quais elementos da arquitetura de referência são necessários juntamente com uma avaliação comparativa independente do contexto de

aplicação da arquitetura, proporcionando um melhor entendimento da arquitetura bem como a identificação e inclusão de melhorias.

- Aplicação e elaboração de um *checklist* de avaliação com especialistas, específico para avaliar a *Ref-mLearning* em aspectos qualitativos.
- Instanciação de uma arquitetura concreta tendo como base a *Ref-mLearning* e seus requisitos arquiteturais. A arquitetura foi definida tendo como base um contexto de aprendizagem móvel para o auxílio e apoio de cursos presenciais.
- Implementação do protótipo ICMC MLE utilizando a *Ref-mLearning* como base arquitetural, juntamente com a sua experimentação na prática em cursos/disciplinas de graduação.

7.4 Trabalhos Futuros

Visando dar continuidade às atividades de pesquisa conduzidas no decorrer do trabalho de doutorado, podem-se destacar como perspectivas de trabalhos futuros as seguintes linhas de atuação:

- Atualização e aperfeiçoamento do catálogo de requisitos: o catálogo proposto neste trabalho, por ser referente ao contexto da aprendizagem móvel (paradigma educacional que vem evoluindo com o tempo), deve ser atualizado, tentando contemplar novos aspectos e características mediante a evolução tecnológica. O catálogo também pode ser aperfeiçoado pela inclusão de métricas de controle e de qualidade, permitindo assim ser utilizado com maior eficiência em avaliações de qualidade frente a ambientes de aprendizagem móvel.
- Detalhamento (baixo nível) dos requisitos arquiteturais: os requisitos foram definidos em grupos, visando a descrição e detalhamentos das principais *features* em um ambiente de aprendizagem móvel. A ideia futura seria detalhar cada requisito em nível de codificação (baixo nível), possibilitando o seu uso em *frameworks* de desenvolvimento.
- Proposta de novas visões arquiteturais: incluir visões arquiteturais complementares ao entendimento e detalhamento da *Ref-mLearning*, tais como visão conceitual e visão de processos.
- Desenvolvimento de outros ambientes de aprendizagem móvel orientados a serviços: como forma de melhorar e evoluir a arquitetura *Ref-mLearning*, espera-se instanciar novas arquiteturas concretas e implementar novos ambientes de aprendizagem móvel, tendo como base a arquitetura proposta em outros contextos de aplicação da aprendizagem móvel (por exemplo, educação a distância, simulação, treinamento, entre outros).
- Evolução da arquitetura de referência: evoluir e atualizar a arquitetura proposta com base na evolução tecnológica e do contexto da aprendizagem móvel, verificando novas

oportunidades e utilização de *m-learning*. Espera-se com isso, melhorar a *Ref-mLearning* quanto à capacidade de definir um vocabulário comum e apoiar o desenvolvimento e utilização de ambientes de aprendizagem móvel.

- Condução de novos experimentos: planejar e executar uma nova experimentação do ambiente ICMC MLE sob o ponto de vista de professores e tutores.

- Aplicação da arquitetura de referência em outros cenários de ensino e aprendizagem: utilizar a *Ref-mLearning* em cenários diferentes de ensino, podendo utilizar a arquitetura de referência para instanciar arquiteturas concretas frente a ambientes de ensino a distância, simuladores, treinamentos, avaliativos, todos no contexto da aprendizagem móvel.

7.5 Produção Científica

Esta seção apresenta a relação das publicações realizadas decorrentes desta pesquisa.

7.5.1 Publicações Relacionadas

Como principais publicações (nacionais e internacionais) resultantes das atividades realizadas durante o presente trabalho de doutorado, podem-se destacar:

- Duarte Filho, N. F.; Barbosa, E. F. *Estudo e Definição de um Conjunto de Características e Requisitos para Ambientes de Aprendizagem Móvel*. In: XXIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2012) – Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2012), 2012, Rio de Janeiro (RJ).

- Duarte Filho, N. F.; Barbosa, E. F. *A Requirements Catalog for Mobile Learning Environments*. In: 28th ACM Symposium on Applied Computing (SAC 2013), 2013a, Coimbra – Portugal.

- Duarte Filho, N. F.; Barbosa, E. F. *Contribution to the quality evaluation of mobile learning environments*. In: 43rd Annual Frontiers in Education Conference (FIE 2013), 2013b, Oklahoma City – EUA.

- Duarte Filho, N. F.; Barbosa, E. F. *Defining a set of architectural requirements for service-oriented mobile learning environments*. In: Mobile Learning 2014 Conference (ML 2014), 2014, Madrid, p. 1-6.

- Duarte Filho, N. F.; Barbosa, E. F. *A Service-Oriented Reference Architecture for Mobile Learning Environments*. In: 2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), 2014, Madrid, p. 1-6.

- Duarte Filho, N. F.; Souza, D. M.; Costa, S. L.; Barbosa, E. F. *Establishment of Microblogs for Communication and Interaction in Mobile Learning Environments*. In: 11th International Conference on Information Systems and Technology Management (CONTECSI 2014), 2014, São Paulo, p. 1-19.

- Duarte Filho, N. F.; Froza, L. B.; Barbosa, E. F. *Contributions for the Architectural Design of Mobile Learning Environments*. In: IADIS International Journal on WWW/Internet Vol. 12, No. 1, pp. 94-112, 2014

- Duarte Filho, N. F.; Barbosa, E. F. *A Contribution to the Establishment of Reference Architectures for Mobile Learning Environments*. In: IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologias del Aprendizaje, vol. 10, no. 4, pp. 234-241, Nov. 2015.

Por fim, também se encontra em elaboração um artigo a ser submetido para um periódico internacional. O artigo sintetiza e analisa um experimento realizado com o ambiente ICMC MLE em um contexto real e prático:

- Duarte Filho, N. F.; Fronza, L. B.; Barbosa, E. F. *Um estudo experimental do ambiente ICMC MLE no apoio ao ensino presencial*.

7.5.2 Publicações Inter-Relacionadas

Além das publicações especificamente voltadas ao tema do projeto de doutorado, outras publicações foram realizadas tendo como base trabalhos em conjunto com outros pesquisadores (alunos de Iniciação Científica, Mestrado e Doutorado). Tais publicações também estão ligadas, direta ou indiretamente, com a linha de pesquisa investigada neste trabalho:

- Souza, D. M.; Costa, S. L.; Duarte Filho, N. F.; Barbosa, E. F. *Um Estudo Experimental sobre o Ambiente PROGTEST no Ensino de Programação*. In: 10th Experimental Software Engineering Latin American Workshop (ESELAW 2013), 2013, Montevidéu, Uruguai.

- Falvo Junior, V.; Duarte Filho, N. F.; Oliveira Junior, E. A.; Barbosa, E. F. *Towards the Establishment of a Software Product Line for Mobile Learning Applications*. In: 26th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE 2014), 2014, Vancouver, p. 1-6.

- Falvo Junior, V.; Duarte Filho, N. F.; Oliveira Junior, E. A.; Barbosa, E. F. *A Contribution to the Adoption of Software Product Lines in the Development of Mobile Learning Applications*. In: 2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), Madrid, p. 1-6, 2014

- Soad, G. W.; Duarte Filho, N. F.; Oliveira Junior, E. A.; Barbosa, E. F. *Uma Contribuição ao Estabelecimento de Características de Qualidade para Aplicações Educacionais Móveis*. In: XIV Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software (SBQS 2015), Manaus, Amazonas, 2015.

- Duarte Filho, N. F; Conrado, G. A. T.; Lima, H.; Barbosa, E. F. *SEMES: Um Sistema Educacional Móvel para o Ensino de Engenharia de Software*. In: RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação, v. 13, n.1, 2015.

REFERÊNCIAS

ABINADER, J. A.; LINS, R. D. **Web Services em Java**. 2006. Editora Brasport. Citado 2 vezes nas páginas 54 e 55.

ADDO, I. D.; AHAMED, S. I.; YAU, S. S.; BUDURU, A. **A Reference Architecture for Improving Security and Privacy in Internet of Things Applications**. 2014. IEEE International Conference on Mobile Services (MS), 108-115. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 134.

AFFONSO, F. J.; NAKAGAWA, E. Y. **A reference architecture based on reflection for self-adaptive software**. 2013. VII Brazilian Symposium on Architectures and Reuse (SBCARS). Citado 4 vezes nas páginas 24, 25, 51 e 80.

AFFONSO, F. J.; RODRIGUES, E. L. L. **A Proposal of Reference Architecture for the Reconfigurable Software Development.** 2012. The 24th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering. SEKE. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 134.

AL-HMOUZ, A.; SHEN, J.; YAN, J. **A Machine Learning Based Framework for Adaptive Mobile Learning**. 2009. ICWL '009 Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Web Based Learning, volume 5686 of Lecture Notes in Computer Science, pages 34–43. Springer. Citado 4 vezes nas páginas 34, 67, 68 e 73.

ALLIAN, A. P.; OLIVEIRA, E.; NAKAGAWA, E. Y. **Estabelecimento de uma Arquitetura de Referência para Ferramentas de Gerenciamento de Variabilidades**. 2015. In: 2nd Latin-American School on Software Engineering (ELA-ES 2015). Citado 2 vezes nas páginas 51 e 120.

ALZAABI, M.; BERRI, J.; ZEMERLY, M. J. **Web-based Architecture for Mobile Learning**. 2010. International Journal for Infonomics (IJI), Volume 3, Issue 1, March. Citado na página 87.

ANGELOV, S.; GREFEN, P. W. P. J.; GREEFHORST, D. **A classification of software reference architectures: Analyzing their success and effectiveness**. 2009. In: Proceedings of the 8th Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture (WICSA 2009), Cambridge, UK, 2009, p. 141-150. Citado 2 vezes nas páginas 46 e 48.

ANGELOV, S.; TRIENEKENS, J. J.; GREFEN, P. **Towards a method for the evaluation of reference architectures: Experiences from a case**. 2008. ECSA 08: Proc. of the 2nd Eur. Conf. on Software Architecture, pages 225–240, Paphos, Cyprus. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 47.

ARSANJANI, A.; ZHANG, L.; ELLIS, M.; ALLAM, A.; CHANNABASAVAIAH, K. **S3: A service-oriented reference architecture**. 2007. IT Professional, v.9, n.3, p. 10-17. Citado 5 vezes nas páginas 15, 25, 48, 90 e 91.

AYALA, G.; CASTILLO, S. **Towards Computational Models for Mobile Learning Objects**. 2008. Fifth IEEE International Conference on Wireless, Mobile, and Ubiquitous Technology in Education (WMTE'05), Tokushima, Japan. Citado 2 vezes nas páginas 70 e 74.

BARCELOS, R. F.; TRAVASSOS, G. **Evaluation approaches for software architectural documents: a systematic review**. 2006a. Proc. of the IX Ibero-American Workshop on Requirements Engineering and Software Environments (IDEAS'06), La Plata, Argentina. Citado na página 119.

BARCELOS, R. F.; TRAVASSOS, G. H. **ArqCheck: Uma abordagem para inspeção de documentos arquiteturais baseada em checklist**. 2006b. V Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software (SBQS'2006), pages 175–189. Citado 2 vezes nas páginas 119 e 126.

BASAEED, E. I.; BERRI, J.; ZEMERLY, J.; BENLAMRI, R. **Web-Based Context-Aware m-Learning Architecture**. 2007. International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM), Vol. 1, No. 1, pp 1-6, Oct. Citado 3 vezes nas páginas 82, 83 e 85.

BASILI, V.; CALDIERA, G.; ROMBACH, H. D. **Goal Question Metric Approach**. 1994. Encyclopedia of Software Engineering, pp. 528-532, John Wiley & Sons, Inc. Citado na página 143.

BASS, L.; CLEMENTS, P.; KAZMAN, R. **Software Architecture in Pratice**. 2003. Addison-Wesley. Citado 5 vezes nas páginas 24, 43, 45, 46 e 126.

BAYER, J.; FOSTER, T.; GANESAN, D.; GIRARD, J. F.; JOHN, I.; KNODEL, J.; KOLB, R.; MUTHIG, D. **Definition of reference architecture based on existing systems**. 2004. Relatório Técnico 034.04/E, Fraunhofer IESE. Citado na página 49.

BIOLCHINI, J.; MIAN, P.; NATALI, A.; CONTE, T.; TRAVASSOS, G. **Scientific research ontology to support systematic review in software engineering**. 2007. Adv. Eng. Inform., v. 21, n. 2, p. 133-151. Citado 2 vezes nas páginas 60 e 61.

BOOTH, D.; HAAS, H.; MCCABE, F.; NEWCOMER, E. **Web Services Architecture**. 2004. Disponível em: <http://www.w3.org/TR/wsarch/> . Acessado em Fevereiro/2016. Citado 4 vezes nas páginas 51, 52, 53 e 55.

BUSCHMANN, F.; MEUNIER, R.; ROHNERT, H.; SOMMERLAD, P.; STAL, M. **Pattern-Oriented Software Architecture: A System of Patterns**. 1996. Wiley. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 45.

CHENG, S.; JHOU, J.; LIOU, B. **PDA Plant Search System Based on the Characteristics of Leaves Using Fuzzy Function**. 2007. Lecture Notes in Artificial Intelligence 4570, Springer-Verlag. Citado 2 vezes nas páginas 76 e 77.

CHOI, H.; LIM, C.; KIM, J. **Defining reference architecture for NTIS development**. 2009. Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT 2009), Phonex Park, Korea, p. 284-287. Citado 2 vezes nas páginas 47 e 48.

CHOU, C. C.; BLOCK, L.; JESNESS, R. **A case study of mobile learning pilot project in K-12 schools**. 2012. Journal of Educational Technology Development and Exchange, 5(2), 11-26. Citado na página 35.

CLEMENTS, P.; BACHMANN, F.; BASS, L.; GARLAN, D.; IVERS, J.; LITTLE, R.; MERSON, P.; NORD, R.; STAFFORD., J. **Documenting Software Architectures: Views and Beyond**. 2011. Ed. Addison-Wesley. Citado na página 127.

CLEMENTS, P.; NORTHROP, L. M. **Software Product Lines: Practices and Patterns**. 2002. Addison-Wesley. Citado na página 79.

CONSORTIUM, . I. G. L. **The IMS Abstract Framework: White Paper**. 2003. IMS Technical Report. 01 July. Disponível em http://www.imsglobal.org/af/index.cfm. Acessado em Janeiro/2016. Citado 5 vezes nas páginas 96, 97, 98, 101 e 102.

COSTAGLIOLA, G.; FERRUCCI, F.; FUCCELLA, V. **SCORM run-time environment as a service**. 2006. Proceedings of the 6th International Conference on Web Enguneering (ICWE 2006), New York, NY, USA, 2006, p.103-110. Citado na página 48.

____. **Bossting the adoption of computer managed instruction functionalities in e-learning systems**. 2008. Journal of Web Engineering, v.7, n.1, p. 42-69. Citado na página 25.

DEBEVC, M.; VERLIC, M.; KOSEC, P.; STJEPANOVIC, Z. **How Can HCI Factors Improve Accessibility of m-Learning for Persons with Special Needs?** 2007. Springer Lecture Notes in Computer Science, 4556 , p 539-548. Citado 3 vezes nas páginas 70, 71 e 73.

DILLON, T. S.; WU, C.; CHANG, E. **Reference architectural styles for service-oriented computing**. 2007. Proceedings of the 4th International Conference of Network and Parallel Computing (NPC 2007), Dalian, China: Springer-Verlag, 2007, p.543-555(LNCS v. 4672). Citado 4 vezes nas páginas 92, 93, 113 e 134.

D'SOUZA D. F.AND WILLS, A. C. **Objects, components, and frameworks with UML: the catalysis approach**. 1999. Addison-Wesley Longman Publishing Co. Citado na página 44.

ECONOMIDES, A. A. **Requirements of Mobile Learning Applications**. 2008. International Journal of Innovation and Learning 5(5), 457–479. Citado 17 vezes nas páginas 25, 33, 35, 59, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 89 e 157.

EICKELMANN, N.; RICHARDSON, D. **An evaluation of software test environment architectures**. 1996. Proceedings of the 18th International Conference on Software Engineering (ICSE 1996), Berlin, Germany. Citado na página 48.

EKLUND, U.; ASKERDAL, O.; GRANHOLM, J.; ALMINGER, A.; AXELSSON, J. **Experience of introducing reference architectures in the development of automotive electronic systems**. 2005. SIGSOFT Software Engineering Notes, v. 30, n. 4, p. 1-6. Citado na página 49.

ERL, T. **Service-oriented architecture: Concepts, technology and design**. 2005. Upper Saddle River, New Jersey, USA: Prentice Hall. Citado na página 56.

____. **SOA: princípios de design de serviços**. 2009. Pearson Prentice Hall. Citado 6 vezes nas páginas 25, 43, 44, 51, 54 e 55.

ESTEFAN, J. A.; LASKEY, K.; MCCABE, F.; THORNTON, D. **Reference Architecture for Services Oriented Architecture Version 1.0**. 2008. OASIS. Disponível em: <http://docs.oasis-open.org/soa-rm/soa-ra/v1.0/soa-ra-pr-01.pdf >. Acessado em Fevereiro/2016. Citado 2 vezes nas páginas 51 e 55.

FILHO, N. F. D.; BARBOSA, E. F. **A Requirements Catalog for Mobile Learning Environments**. 2013. In: 28th ACM Symposium on Applied Computing (SAC 2013), 2013, Coimbra - Portugal. Citado na página 127.

FIORAVANTI, M. L.; NAKAGAWA, E. Y.; BARBOSA, E. F. **EDUCAR: uma arquitetura de referência para ambientes educacionais**. 2010. Anais do 21th simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2010), João Pessoa, Paraíba, 2010, p. 1-10. Citado 8 vezes nas páginas 25, 48, 51, 80, 99, 100, 101 e 102.

FISHER, A. **What labor shortage?** 1997. Fortune, 135(12), 154-156. Citado na página 30.

GALLAGHER, B. P. **Using the Architecture Tradeoff Analysis MethodSM to Evaluate a Reference Architecture: A Case Study**. 2000. Nota técnica CMU/SEI-2000-TN-007.jun. Citado na página 46.

GAMMA, E.; HELM, R.; JOHNSON, R.; VLISSIDES, J. J. **Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software**. 2000. Bookman. Citado na página 25.

GARLAN, D.; PERRY, D. **Introduction to the Special Issue on Software Architecture**. 1995. IEEE Transactions on Software Engineering, pp. 269-274. Citado na página 46.

GHIM, S.; YOON, Y.; RA, I. **A Context-Adaptive Model for Mobile Learning Applications**. 2004. WISE 2004 Workshops, LNCS 3307, pp.102-113. Citado 2 vezes nas páginas 67 e 72.

GLAVINIC, V.; LJUBIC, S.; KUKEC, M. **On Efficiency of Adaptation Algorithms for Mobile Interfaces Navigation**. 2009. Stephanidis, UAHCI 2009. LNCS, vol. 5615, pp. 307–316. Springer, Heidelberg. Citado na página 76.

GOH, T.; KINSHUK, D. **Getting Ready For Mobile Learning-Adaptation Perspective**. 2006. Journal of Educational Multimedia and Hypermedia, 15(2), 175-198. Chesapeake, VA: AACE. Citado na página 35.

GONCALVES, M.; OQUENDO, F.; NAKAGAWA, E. Y. **Towards Architectural Synthesis of Systems-of-Systems**. 2015. In: IX Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems, and Systems-of-Systems (WDES 2015). Citado na página 51.

GORTON, I. **Essential Software Architecture**. 2006. 1st ed., New York, Springer. Citado na página 44.

GROSSKURTH, A.; GODFREY, M. W. **A reference architecture for Web browsers**. 2005. Proceedings of the 21st IEEE International Conference on Software Maintenance, 2005. ICSM'05, 661 – 664. Citado na página 25.

GUESSI, M.; OLIVEIRA, L. B. R.; NAKAGAWA, E. Y. **Representation of Reference Architectures: A Systematic Review**. 2011. 23nd International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE 2011), 2011, Miami Beach. Citado 3 vezes nas páginas 51, 120 e 134.

HASHEMI, M.; AZIZINEZHAD, M.; NAJAFI, V.; NESARI, A. J. **What is mobile learning? Challenges and capabilities**. 2011. Procedia Social and Behavioral Sciences, 30, 2477-2481. Citado na página 34.

HOFFMANN, M.; KUHN, N.; WEBER, M.; BITTNER, M. **Requirements for requirements management tools**. 2004. Proceedings of the IEEE International Requirements Engineering Conference (RE'04), pages 301-308, Kyoto, Japan, September. Citado na página 66.

HOLOTESCU, C.; CRETU, V.; GROSSECK, G. **Microblogging Architecture and Scenarios for Learning in Mobile Groups**. 2014. Social and Behavioral Sciences 143 (2014) 1158 – 1163. Citado na página 88.

HSU, C.; HO, C. **The design and implementation of a competency-based intelligent mobile learning system**. 2012. Expert Systems with Applications, Volume 39, Issue 9, July, p 8030–8043. Citado 2 vezes nas páginas 73 e 76.

HURWITZ, J.; BLOOR R.AND BAROUDI, C.; KAUFMAN, M. **Service Oriented Architecture for Dummies**. 2007. Indianapolis; Indiana: Wiley. Citado 2 vezes nas páginas 51 e 53.

ISO9126, . **The international organization for standardization**. 1991. Software engineering Product quality. Citado na página 66.

JONG, T.; SPECHT, M.; KOPER, R. **A Reference Model for Mobile Social Software for Learning**. 2008. International Journal of Continuing Engineering Education and Life-Long Learning, Journal Article, vol.18 , pag.118-138. Citado na página 81.

JOSUTTIS, N. M. **SOA in pratice: The art of distributed systems design**. 2007. O'Reilly. Citado na página 55.

JURISTO, N.; MORENO, A. M. **Basics of software engineering experimentation**. 2013. Springer Science & Business Media. Citado 2 vezes nas páginas 148 e 153.

KAZHAMIAKIN, R.; PISTORE, M.; SANTUARI, L. **Analysis of communication models in web service compositions**. 2006. Proceedings of the 15th International Conference on World Wide Web (WWW 2006), New York, NY, USA, p.267-276. Citado na página 56.

KEEGAN, D. **The Incorporation of Mobile Learning into Mainstream Education and Training**. 2005. Proccedings of mLearning2005-4th World Conference on m-learning, Cape Town. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 30.

KINSHUK, T.; SUHONEN, J.; SUTINEN, E.; GOH, T. **Mobile technologies in support of distance learning**. 2003. Asian Journal of Distance Education, v. 1, n. 1, p. 60 -68. Citado 3 vezes nas páginas 23, 24 e 31.

KITCHENHAM, B. **Procedures for performing systematic reviews**. 2004. Joint Technical Report Software Engineering Group, Department of Computer Science Keeli University, United King and Empirical Software Engineering, National ICT Australia Ltd. Citado na página 60.

KUKULSKA-HULME, A.; SHARPLES, M. **Waypoints along learning journeys in a mobile world**. 2015. Sustaining Mobile Learning: Theory, Research and Practice, pg 43, Routledge. Citado 6 vezes nas páginas 23, 24, 29, 30, 31 e 157.

LAINE, T. H.; SEDANO, C. A.; JOY, M.; SUTINEN, E. **Critical Factors for Technology Integration in Game-Based Pervasive Learning Spaces**. 2010. Proceedings of the IEEE Transactions on Learning Technologies, Vol. 3(4). Citado 4 vezes nas páginas 34, 72, 76 e 77.

LAN, J.; LIU, Y.; CHAI, Y. **A solution model for service-oriented architecture**. 2008. Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA 2008), Chongqing, China, p.4184-4189. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 91.

LIKERT, R. **A Technique for the Measurement of Attitudes**. 1932. Archives of Psychology 140: pp. 1-55. Citado na página 128.

LIU, L.; KHOOSHABEH, P. **Paper or interactive?: a study of prototyping techniques for ubiquitous computing environments**. 2003. CHI'03 extended abstracts on Human factors in computing systems. ACM New York, NY, USA. Citado na página 82.

LONSDALE, P.; BABER, C.; SHARPLES, M. **A Context Awareness Architecture for Facilitating Mobile Learning**. 2004. Learning with Mobile Devices: Research and Development. London. Learning and Skills Development Agency, pp. 79-85. Citado na página 81.

MARTIN, E.; ANDUEZA, N.; CARRO, R. M. **Architecture of a System for Context-based Adaptation in M-Learning**. 2006. Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2006). IEEE Computer Society (2006) 252-254. Citado 2 vezes nas páginas 85 e 86.

MARTIN, S. M. **M2Learn: Towards a homogeneous vision of advanced mobile learning development**. 2010. Education Engineering (EDUCON), IEEE, p 569 – 574. Citado 3 vezes nas páginas 76, 77 e 85.

MASUD, A. H.; HUANG, X. **An E-learning System Architecture based on Cloud Computing**. 2012. World Academy of Science, Engineering and Technology, 62. Citado 3 vezes nas páginas 100, 101 e 102.

MENDES, A. **Arquitetura de Software: Desenvolvimento Orientado para Arquitetura**. 2002. Rio de Janeiro, Brasil, Campus. Citado na página 44.

MINOVIC, M.; STAVLJANIN, V.; MILOVANOVIC, M.; STARCEVIC, D. **Usability Issues of e-Learning Systems: Case-Study for Moodle Learning Management System**. 2008. Proceedings of the OTM Confederated international Workshops and Posters on the Move To Meaningful internet Systems: 2008 Workshops, Lecture Notes In Computer Science, vol. 5333. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 561–570. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 157.

MOLE. **Project Mobile Learning Environment (MoLE)**. 2012. Science & Technology (S&T) Technology & Transition (N11-06). Disponível em: https://wss.apan.org/1539/JKO/mole/SitePages/Home.aspx. Acessado em Abril/2016. Citado 2 vezes nas páginas 95 e 96.

MULLER, G. **A reference architecture Primer**. 2008. Disponível em http://www.gaudisite.nl/. Acessado em Abril/2016. Citado na página 49.

NAH, K. C.; WHITE, P.; SUSSEX, R. **The potential of using a mobile phone to access the internet for learning EFL listening skills within a korean context**. 2008. ReCALL, Cambridge University Press, New York, NY, USA, v. 20, n. 3, p. 331–347.ISSN 0958-3440. Citado 3 vezes nas páginas 23, 24 e 31.

NAKAGAWA, E. Y. **Uma Contribuição ao Projeto Arquitetural de Ambientes de Engenharia de Software**. 2006. PhD thesis, ICMC/USP, São Carlos, SP. Citado 8 vezes nas páginas 46, 47, 48, 49, 79, 80, 107 e 113.

____. **Reference architectures and variability: current status and future perspectives**. 2012. WICSA/ECSA '12 Proceedings of the WICSA/ECSA 2012 Companion Volume, Pages 159-162. Citado 7 vezes nas páginas 120, 121, 122, 123, 126, 127 e 134.

NAKAGAWA, E. Y.; FERRARI, F. C.; SASAKI, M. M.; MALDONADO, J. C. **An aspect-oriented reference architecture for software engineering environments**. 2011. Journal of Systems and Software, vol. 84, no. 10, pp. 1670 – 1684. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 51.

NAKAGAWA, E. Y.; MALDONADO, J. C. **Representing aspect-based architecture of software engineering environments**. 2007. Proceedings of the 1th Workshop on Aspects in Architecture Description, 6th International Conference on AOSD, Vancouver, British Columbia, p. 1-4, Canada. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 126.

NAKAGAWA, E. Y.; SASAKI, M. M. F.; MALDONADO, J. C. **An aspect-oriented framework for software documentation: An example on testing**. 2009. Proceedings of the 12th Iberoamerican Conference on Requirements Engineering and Software Environments (IDEAS 2009), Medellín, Colombia, p.225-238. Citado 3 vezes nas páginas 49, 102 e 158.

NESTEL, D.; NIG, A.; GRAY, K.; HILL, R.; VILLANEUVA, E.; KOTSANAS, G. **Evaluation of mobile learning: Students experiences in a new rural-based medical school**. 2010. BMC Medical Education, 10, 57-79. doi:10.1186/1472-6920-10-57. Citado 3 vezes nas páginas 67, 70 e 76.

NEVES, J. M. M. **Estudo de Usabilidade em Sistemas Móveis com Foco em PDAs**. 2005. Dissertação (Mestrado)–Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Citado na página 34.

NYíRI, K. **Towards a Philosophy of M-Learning**. 2002. Presented at the IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education (WMTE 2002). Citado na página 33.

OASIS, . **Reference model for service oriented architecture 1.0**. 2006. Relatório Técnico, Advanced Open Standards for the Information Society (OASIS). Citado na página 92.

____. **Reference architecture for service oriented architecture version 1.0**. 2008. Relatório Técnico, Advanced Open Standards for the Information Society (OASIS). Citado na página 92.

OLIVEIRA, L. B. R.; NAKAGAWA, E. Y. **A Systematic review on service-oriented reference models and service-oriented reference architecture**. 2010. Relatório Técnico TR-353, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidades de São Paulo - ICMC/USP, São Carlos, SP. Citado 4 vezes nas páginas 17, 80, 93 e 94.

O'MALLEY, C. **Computer supported collaborative learning**. 2012. Vol. 128. Springer Science & Business Media. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 34.

O'MALLEY, C.; VAVOULA, G.; GLEW, J.; TAYLOR, J.; SHARPLES, M. **Guidelines for learning/teaching/tutoring in a mobile environment**. 2003. Mobilearn project deliverable. Disponível: http://www.mobilearn.org/download/results/. Acessado em Fevereiro/2016. Citado 3 vezes nas páginas 23, 24 e 30.

OTON, S.; ORTIZ, A.; HILERA, J. R.; BARCHINO, R.; GUTIERREZ, J. M.; MARTINEZ, J. A.; MARCOS, L.; JIMENEZ, L. M. **Service Oriented Architecture for the Implementation of Distributed Repositories of Learning Objects**. 2010. (ICIC) International Journal of Innovative Computing, Information and Control. Volume 6, Number 3(A), March. Citado 3 vezes nas páginas 24, 43 e 81.

OUTTAGARTS, A. **Object Oriented vs. Agent-Based Oriented Ubiquitous Intelligent Mobile Managed e-Learning Environment**. 2009. IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.9 No.11, November. Citado na página 73.

OZDAMLI, F.; CAVUS, N. **Basic elements and characteristics of mobile learning**. 2011. World Conference on Educational Technology Researches, Volume 28, p 937–94. Citado 4 vezes nas páginas 68, 70, 71 e 77.

PALANIVEL, K.; KUPPUSWAMI, S. **Service-Oriented Reference Architecture for Personalized E-learning Systems (SORAPES)**. 2011. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 24– No.5, June. Citado 3 vezes nas páginas 24, 43 e 81.

PAN, Y.; LI, L.; ZHAMG, X. **Learning can happen Anytime and Anywhere: the Application of M-learning in Medical Education**. 2010. Education Technology and Computer Science (ETCS), 2010 Second International Workshop on Education Technology and Computer Science, vol 3, p 508 – 511. Citado 4 vezes nas páginas 70, 71, 75 e 89.

PAPAZOGLOU, M. P.; TRAVERSO, P.; DUSTDAR, S.; LEYMANN, F. **Service-oriented computing: a research roadmap**. 2008. International Journal of Cooperative Information Systems, v.17, n.2, p.223-255. Citado na página 57.

PARSONS, D.; RYU, H.; CRANSHAW, M. **A Study of Design Requirements for Mobile Learning Environments**. 2006. Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), 96-100. Citado 5 vezes nas páginas 59, 67, 68, 70 e 76.

____. **A Design Requirements Framework for Mobile Learning Environments**. 2007. Journal of Computers, vol. 2, no 4, june. Citado 4 vezes nas páginas 33, 67, 68 e 89.

PELTZ, C. **Web Services Orchestration and Choreography**. 2003. IEEE Computer, v.36, n.10, p. 46-52. Citado 2 vezes nas páginas 56 e 57.

PERISTERAS, V.; FRADINHO, M.; LEE, D.; PRINZ, W.; RULAND, R.; IQBAL, K.; DECKER, S. **CERA: A collaborative environment reference architecture for interoperable CWE systems**. 2009. Service Oriented Computing and Applications, v.3, n.1, p. 3-23. Citado na página 25.

PIAZZA, A. P. **Uma abordagem para interoperabilidade entre plataformas heterogêneas de serviços web para redes colaborativas de organizações**. 2007. Eng. Elétrica - UFSC. Dissertação. Citado na página 52.

POCATILU, P.; BOJA, C. **Quality Characteristics and metrics related to m-learning process**. 2009. Amfiteatru Economic, Year XI, June, No. 26, pp. 346-354. Citado 6 vezes nas páginas 59, 72, 73, 74, 75 e 77.

PREE, W.; H., S. **Design patterns for object-oriented software development (tutorial)**. 1997. In Proceedings of the 19th Int. Conf. on ICSE, pages 663–664. Citado na página 134.

REIS, R.; ESCUDEIRO, P.; ESCUDEIRO, N. **Educational Resources for Mobile Wireless Devices: A Case Study**. 2012. IEEE International Conference on Wireless, Mobile and Ubiquitous Technology in Education. Citado 5 vezes nas páginas 34, 69, 71, 72 e 73.

ROSCHELLE, J.; PEA, R. **A walk on the WILD side: How wireless handhelds may change computer-supported collaborative learning**. 2002. Proceedings of the International Conference on Computer Supported Collaborative Learning. Citado 3 vezes nas páginas 30, 31 e 32.

SCHEPMAN, A.; RODWAY, P.; BEATTIE, C.; LAMBERT, J. **An observational study of undergraduate students' adoption of (mobile) note-taking software**. 2012. Computers in Human Behavior, 28(2), 308-317. Citado 4 vezes nas páginas 71, 73, 77 e 89.

SCOTT, M. L. **Programming language pragmatics**. 2000. Morgan Kaufmann. Citado na página 105.

SHA, L.; LOOI, C.; CHEN, W.; SEOW, P.; WONG, L. **Recognizing and measuring self-regulated learning in a mobile learning environment**. 2012. Computers in Human Behavior. Volume 28, Issue 2, March, Pages 718–728. Citado na página 33.

SHARP, H.; TAYLOR, J.; LOBER, A.; FROHBERG, D.; MWANZA, D.; MURELLI, E. **Establishing user requirements for a mobile learning environment**. 2003. In: Conference proceedings of Eurescom 2003, 29 Sept- 1 Oct 2003, Heidelberg, Germany. Citado 5 vezes nas páginas 69, 70, 73, 74 e 76.

SHARPLES, M.; ARNEDILLO-SáNCHEZ, I.; MILRAD, M.; VAVOULA, G. **Mobile learning**. 2014. Cambridge handbook of the learning sciences. Citado 4 vezes nas páginas 23, 24, 30 e 31.

SHARPLES, M.; CORLETT, D.; WESTMANCOTT, O. **The design and implementation of a mobile learning resource**. 2002. Personal and Ubiquitous Computing, 6:220- 234. Citado na página 31.

SHAW, M.; CLEMENTS, P. **The golden age of software architecture**. 2006. IEEE Software, v. 23, n. 2, p. 31-39. Citado na página 126.

SHAW, M.; GARLAN, D. **Software Architecture: Perspectives on an Emerging Discipline**. 1996. New Jersey, Prentice-Hall. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 44.

SVETLANA, K.; YOON, Y. **Adaptation e-learning contents in mobile environment**. 2009. ICIS '09: Proceedings of the 2nd International Conference on Interaction Sciences. New York, NY, USA: ACM, p. 474–479. ISBN 978-1-60558-710-3. Citado 3 vezes nas páginas 23, 24 e 30.

THANH, D. V.; JORSTAD, I. **A Service-Oriented Architecture Framework for Mobile Services**. 2005. Advanced Industrial Conference on Telecommunications/Service Assurance with Partial and Intermittent Resources Conference/ELearning on Telecommunications Workshop, Lisbon, Portugal. Citado na página 83.

TRAXLER, J.; LEACH, J. **Innovative and Sustainable Mobile Learning in Africa. Wireless and Mobile Technologies in Education**. 2006. IEEE International Workshop on, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, USA, v. 0, p. 98–102. Citado na página 30.

TRAXLER, J.; VOSLOO, S. **Introduction: The prospects for mobile learning**. 2014. Prospects (2014) 44:13–28. Springer. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 31.

TRIFONOVA, A.; RONCHETTI, M. **A general architecture to support mobility in learning**. 2004. Fourth IEEE international conference on advanced learning technologies (ICALT'04) (pp. 26–30). Citado 2 vezes nas páginas 84 e 85.

UNESCO, . **Policy Guidelines for Mobile Learning**. 2013. Disponível em: http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002196/219641E.pdf>. Acessado em Janeiro/2016. Citado 4 vezes nas páginas 29, 31, 32 e 33.

WASSERMAN, A. **Toward a discipline of software engineering.** 1996. IEEE Software, v. 13, n. 6, p. 23-31. Citado na página 24.

WEXLER, S.; BROWN, J.; METCALF, D.; ROGERS, D.; WAGNER, E. **Mobile Learning: What it is, why it matters, and how to incorporate it into your learning strategy**. 2008. Guild Research. Citado 4 vezes nas páginas 23, 24, 30 e 74.

YEN, J. C.; LEE, C. Y. **Exploring problem solving patterns and their impact on learning achievement in a blended learning environment**. 2011. Computers and Education, 56(1),138-1. Citado 4 vezes nas páginas 64, 69, 73 e 77.

ZARE, S. **Personalization in Mobile Learning for People with Special Needs**. 2011. UAHCI'11 Proceedings of the 6th international conference on Universal access in human-computer interaction: applications and services - Volume Part IV, p 662-669. Citado 4 vezes nas páginas 68, 69, 75 e 77.

ZERVAS, P. **Tools for Context-Aware Learning Design and Mobile Delivery**. 2011. Advanced Learning Technologies (ICALT), 11th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies. Citado 4 vezes nas páginas 68, 70, 74 e 77.

ZHAO, D.; ROSSON, M. B. **How and why people Twitter: the role that micro-blogging plays in informal communication at work**. 2009. Proceedings of the ACM 2009 International Conference on Supporting Group Work, May 10-13, 2009, Sanibel Island, Florida, USA. Citado na página 34.

ZHUANG, L.; YAN, C. X. D. **Mobile Learning Applied Research Based on 3G Technology**. 2009. Seventh ACIS International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications. pp. 173-175. Haikou, China. 2-4 December. Citado 7 vezes nas páginas 67, 68, 70, 71, 72, 73 e 89.

ZIMMERMANN, O.; KOPP, P.; PAPPE, S. **Architecture knowledge in an SOA infrastructure reference architecture**. 2009. Software Architecture Knowledge Management, Berlin, Heidenberg: Springer-Verlag, p. 217-241. Citado 3 vezes nas páginas 43, 44 e 92.

ZURITA, G.; NUSSBAUM, M. **Computer supported collaborative learning using wirelessly interconnected handheld computers**. 2004. Computers and Education,42, 289-314. Citado na página 31.

APÊNDICE

A

QUESTIONÁRIO DE CARACTERÍSTICAS E REQUISITOS PARA AMBIENTES DE APRENDIZAGEM MÓVEL

Este questionário tem por objetivo priorizar e complementar os requisitos de qualidade levantados até o momento no presente trabalho. Cada característica foi decomposta em requisitos. Cada requisito deve ser enumerado de acordo com a legenda, caso seja necessário, deve-se atribuir um novo requisito de forma a complementar a pesquisa:

[4-Muito relevante]
[3-Relevante]
[2-Pouco relevante]
[1-Não aplicável]

Segue uma explicação e descrição para cada pontuação.

4-Muito relevante: Requisito importante ao ambiente educacional, sendo de extrema importância a garantia de sua qualidade, inferindo diretamente nas práticas educacionais.

3-Relevante: Requisito importante principalmente para a qualidade externa do ambiente, vinculada mais para utilização dos aprendizes, professores e tutores.

2-Pouco relevante: Requisito no qual seja desejável sua utilização nas práticas educacionais, mas não essencial para o sucesso do mesmo.

1-Não aplicável: Requisito que não se aplica ao contexto dos ambientes educacionais móvel.

Priorização

Funcionalidade

(__) - Adequação [mede o quanto o conjunto de funcionalidades é adequado às necessidades educacionais dos aprendizes]

(__) - Acurácia [representa a capacidade do ambiente de fornecer resultados precisos ou com a precisão dentro do que foi acordado]

(__) - Interoperabilidade [trata da maneira como o ambientes interage com outro(s) sistema(s) especificados]

(__) - Acesso [o ambiente deve prover um acesso seguro e privado, evitando que não ocorra de maneira acidental ou maliciosa o acesso de pessoas não autorizadas]

(__) - Reutilização [o ambiente também deve ser projetado de forma modular possibilitando a reutilização e incorporação de objetos de aprendizagem disponíveis em outros ambientes de aprendizagem]

(__) - Recursos Multimídia [o ambiente deve suportar tipos diferentes de mídia - como por exemplo, texto, áudio, vídeo, realidade aumentada]

Segurança

(__) - Confiabilidade [permite que o acesso à informação/serviço só pode ser concedido a usuários autorizados]

(__) - Disponibilidade [capacidade com que os ambientes educacionais mantenham seu funcionamento online]

(__) - Integridade [nos ambientes educacionais as informações trafegam pela web tanto do lado do usuário como do lado do servidor, é importante que essas informações sejam íntegras]

Desempenho

(__) - Escalabilidade [capacidade com que o ambiente suporta um número específico de usuários na mesma seção]

(__) - Expansibilidade [facilidade com que novos serviços podem ser adicionados ou estendidos dentro deste tipo de sistema]

(__) - Utilização de Recursos [capacidade do ambiente em utilizar tipos e quantidades apropriados de recursos]

(__) - Capacidade de Resposta [as respostas do ambiente em relação às atividades e notificações devem ser rápidas e eficientes, não devendo haver atrasos em relação às solicitações dos aprendizes e seus tutores]

(__) - Armazenamento de Memória [o ambiente de aprendizagem móvel deve utilizá-lo eficientemente, visto que estes são limitados em dispositivos móveis]

(__) - Consumo de Energia [representa um dos grandes desafios da computação ubíqua, o ambiente deve ter um consumo de energia eficiente]

(__) - Condições Físicas [o ambiente deve possibilitar funcionalidades específicas em relação à configuração da iluminação, controle do nível de ruído, condições meteorológicas, entre outras]

Pedagógicos

(__) - Conhecimento Just-in-time [os ambientes de aprendizagem móvel devem permitir que o conhecimento do objeto de aprendizado possa ser levado e representado a qualquer lugar]

(__) - Visões Separadas [o ambiente de aprendizagem móvel deve possibilitar a separação de visões em relação aos professores, tutores e aprendizes, através de permissões e funcionalidades específicas]

(__) - Gerenciamento de Conteúdo [a organização dos conteúdos nos ambientes de aprendizagem móvel pode ser feita de diferentes maneiras: projetos, definições e unidades temáticas]

(__) - Atividades Educacionais [os ambientes virtuais de aprendizagem, sendo eles móveis ou não, utilizam-se de diversas atividades e materiais para prover o ensino aos aprendizes]

(__) - Adaptação ao contexto [o sistema deve ser capaz de detectar automaticamente a informação contextual ligado ao contexto dos usuários e tutores, por exemplo, lugar, tempo, e em alguns casos, as condições físicas de acordo com a situação]

(__) - Interatividade [uma das premissas da aprendizagem móvel é a sua interatividade através da utilização de novas tecnologias, proporcionando maior motivação e interatividade das atividades em relação aos aprendizes e tutores]

Usabilidade

(__) - Inteligibilidade [representa a facilidade com que o usuário pode compreender as funcionalidades do ambiente]

(__) - Atratividade/Motivação [envolve características pedagógicas que possam atrair um potencial grupo de usuários para o ambiente]

(__) - Operacionalidade [é como o produto facilita a sua operação por parte do usuário, incluindo a maneira como ele tolera erros de operação]

(__) - Apreensibilidade [identifica a facilidade de aprendizado (utilização) do ambiente para os seus potenciais usuários]

(__) - Layout e Organização [o ambiente deve proporcionar um layout simples e bem estruturado. Deve ser esteticamente atraente, agradável e divertido de usar, garantindo maior motivação por parte dos aprendizes]

(__) - Acessibilidade [os ambientes de aprendizagem móvel devem tentar garantir o máximo de acessibilidade aos usuários, independentemente de capacidade, idade ou situação]

(__) - Ajuda [por se tratar de um ambientes de aprendizagem móvel, este deve possuir formas e funções de apoio ao usuário do ambiente]

Suporte

(__) - Customização [as mudanças e ações no ambiente devem ser adaptadas para o usuário final, mediante seu perfil, preferências e restrições]

(__) - Tolerância a Erros [os erros devem ser facilmente reparados com o mínimo de esforço e recursos]

(__) - Instalação [identifica a facilidade com que pode se instalar o sistema em um novo ambiente]

(__) - Atualização e Configuração [um ambiente de aprendizagem móvel pode e deve passar por atualizações e configurações automáticas]

Nível de Serviço

(__) - Plano de Continuidade [estratégias e procedimentos permitindo planos de recuperação gradual, recuperação intermediária e recuperação imediata para a disponibilidade dos ambientes]

(__) - Acordo de Nível de Serviço [permitem manter um bom relacionamento entre cliente e o fornecedor, melhorando a especificação e o entendimento dos requisitos do ambiente educacional]

(__) - Custo-Benefício [os custos de desenvolvimento, compra e manutenção de ambientes de aprendizagem devem ser baixos, flexibilizar o alcance do ensino]

Comunicação

(__) - Resultado e *Feedback* [devem possuir funcionalidades de *feedback* de desempenho dos aprendizes de forma instantânea]

(__) - Atividades Individuais e em Grupo [o ambiente deve proporcionar atividades individuais e quando possível aplicar atividade em grupo]

(__) - Colaboração [os ambientes devem possuir ferramentas específicas para colaboração de tarefas, sendo feitos através de wikis, jogos, microblogs e grupos]

(__) - Sincronização [devem possuir comunicações síncronas ou assíncronas com os dispositivos móveis dos usuários]

(__) - Gerenciamento de Avisos e Mensagens [os aprendizes devem receber avisos e comunicados através de SMS's/MMS's, e-mails, entre outros.]

Portabilidade

(__) - Adaptabilidade [representando a capacidade do ambiente de se adaptar a diferentes plataformas ou dispositivos sem a necessidade de ações adicionais]

(__) - Coexistência [mede o quão facilmente o ambiente convive com outros funcionando ao mesmo tempo]

(__) - Portável para dispositivos móveis [capacidade de utilização do ambiente educacional em diferentes dispositivos móveis]

Complementação

(__) - **Nome do Requisito** [Breve descrição]

(__) - _____

_____

_____

(__) - _____

_____

_____

APÊNDICE

B

CHECKLIST AVALIATIVO DA *REF-MLEARNING*

O questionário a seguir foi desenvolvido com o propósito de avaliar a arquitetura *Ref-mLearning* por meio da ajuda de especialistas.

A arquitetura já foi validada por meio de um modelo de referência específico para arquiteturas de referências e por meio de uma instanciação de estudo de caso. A ajuda de especialistas possibilitará a identificação de melhorias principalmente no contexto educacional e móvel, entre outros aspectos da arquitetura.

Cada questão do questionário poderá ser respondida de acordo com a legenda, sendo relacionados aos itens da arquitetura:

[4-Atende Totalmente]

[3-Atende Parcialmente]

[2-Não Atende]

[1-Indiferente]

Segue uma explicação e descrição de cada pontuação.

Tempo médio de duração: aproximadamente 30 minutos.

Ao final do questionário, o avaliador poderá incluir considerações finais sobre a arquitetura avaliada ou sobre aspectos gerais da avaliação.

Antes de responder o questionário, é preciso analisar e entender a documentação da ***Ref-mLearning***. As próximas páginas mostram e descrevem de forma resumida a sua documentação, sendo segmentada em: (1) informações gerais; (2) catálogo de requisitos; (3) visão geral; (4) visão de módulos; (5) visão em tempo de execução; e (6) visão de implantação

Informações gerais

Nome da Arquitetura: *Ref-mLearning* – Arquitetura orientada a serviços para ambientes de aprendizagem móvel.

Contexto de Aplicação: Contexto Educacional / Ambientes de aprendizagem móvel.

Interessados: Analistas, Arquitetos e Especialistas da Área (educacional).

Objetivo da Arquitetura: contribuir para a evolução, reúso e interoperabilidade dos ambientes de aprendizagem móvel, possibilitando ainda um aumento na qualidade e redução de custos durante o seu desenvolvimento, características estas providas pelo SOA (*Service Oriented Architecture*).

Motivação/Justificativa: Devido à complexidade e falta de padronização dos ambientes de aprendizagem móvel, dificuldades quanto à utilização, integração, manutenção e reutilização desses ambientes são muito comuns ao longo de seu desenvolvimento. Nesse contexto, a utilização do estilo arquitetural SOA pode flexibilizar a construção e utilização dos ambientes educacionais, melhorando a disponibilidade, interoperabilidade e reúso das práticas educacionais. A definição de uma arquitetura de referência orientada a serviços para o domínio em questão representa diretrizes necessárias para apoiar as práticas educacionais, constituindo uma padronização para o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel.

Catálogo de requisitos

As características e requisitos identificados nesta pesquisa foram identificados durante a condução de uma revisão sistemática.

As características e requisitos específicos aos ambientes de aprendizagem móvel (Figura 57) foram incorporadas em um catálogo de requisitos de forma organizada e hierárquica, possibilitando ao catálogo ser utilizado na prática apoiando a definição e entendimento da arquitetura de referência.

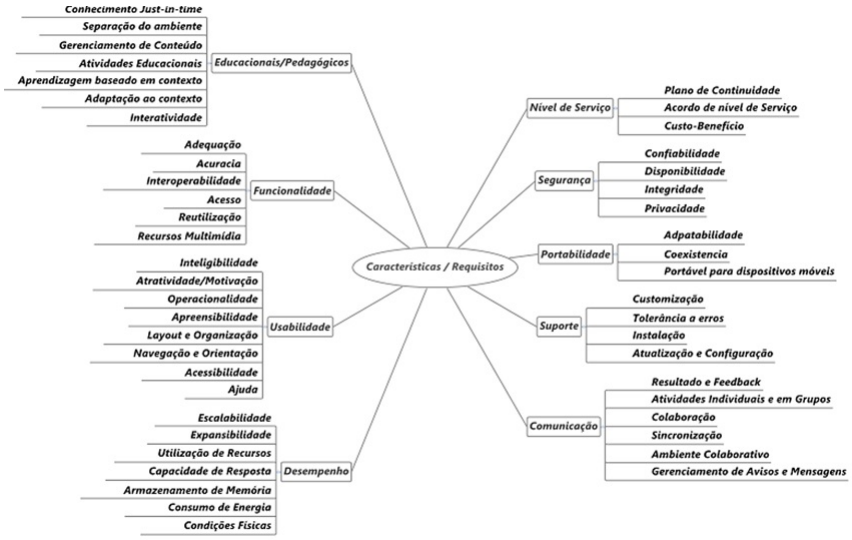


Figura 57 – Mental: Características e Requisitos para Aprendizagem Móvel

As características definidas no catálogo, foram validadas com a ajuda de especialistas da área.

Além de ajudarem na concepção e desenvolvimento de novos ambientes de aprendizagem móvel, as características e requisitos identificados no catálogo facilitam a definição de um vocabulário comum frente a este novo contexto de aprendizagem.

Visão geral

Esta visão apresenta os módulos específicos do domínio educacional. Além disso, são incorporados elementos relacionados ao SOA, permitindo maior reúso e interoperabilidade.

Os elementos descritos nesta visão podem ser implementados usando tecnologias e linguagens distintas, de acordo com as necessidades de implementação.

A visão geral (Figura 58) está segmentada nas seguintes camadas: (1) Camada de Dados; (2) Camada de Apresentação; (3) Camada de Apresentação; (4) Camada de Qualidade de Serviços; (5) Camada de Visão; e (6) Camada da Intermediação de Serviços.

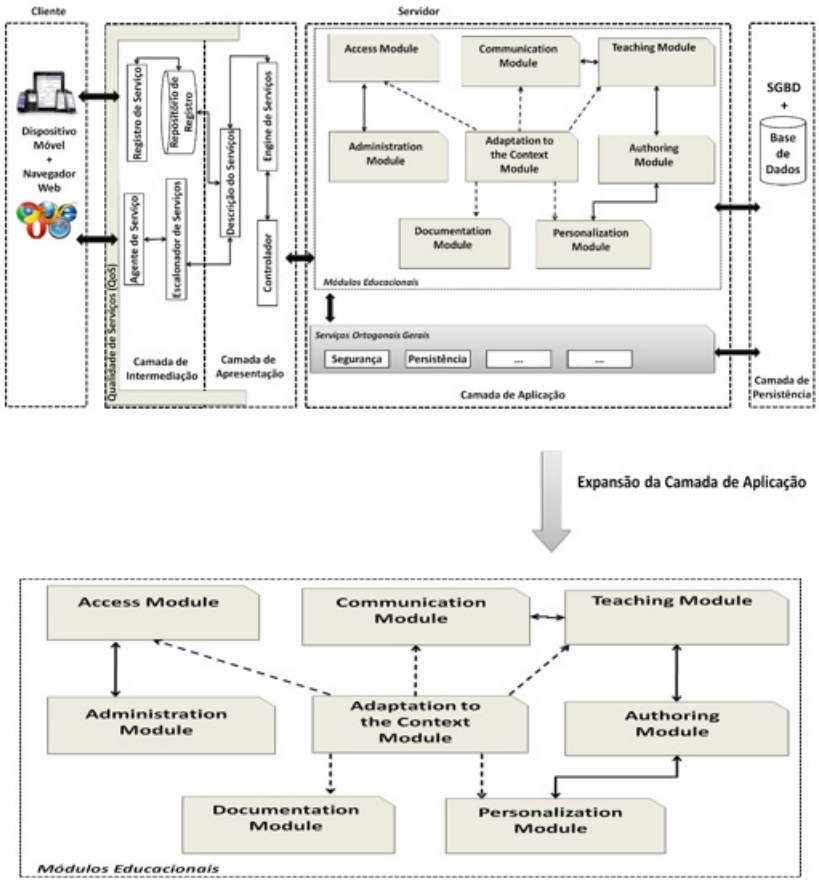


Figura 58 – Visão geral *Ref-mLearning*.

Visão de módulos

A visão de módulos (Figura 59) é importante para a representação de uma arquitetura de referência, representando a estrutura do sistema em termos de módulos.

Cada módulo é representado por um pacote e os sub-módulos por sub-pacotes, os quais ainda podem ser refinados em classes e interfaces que mostram o que cada sub-módulo contém em termos de funcionalidades.

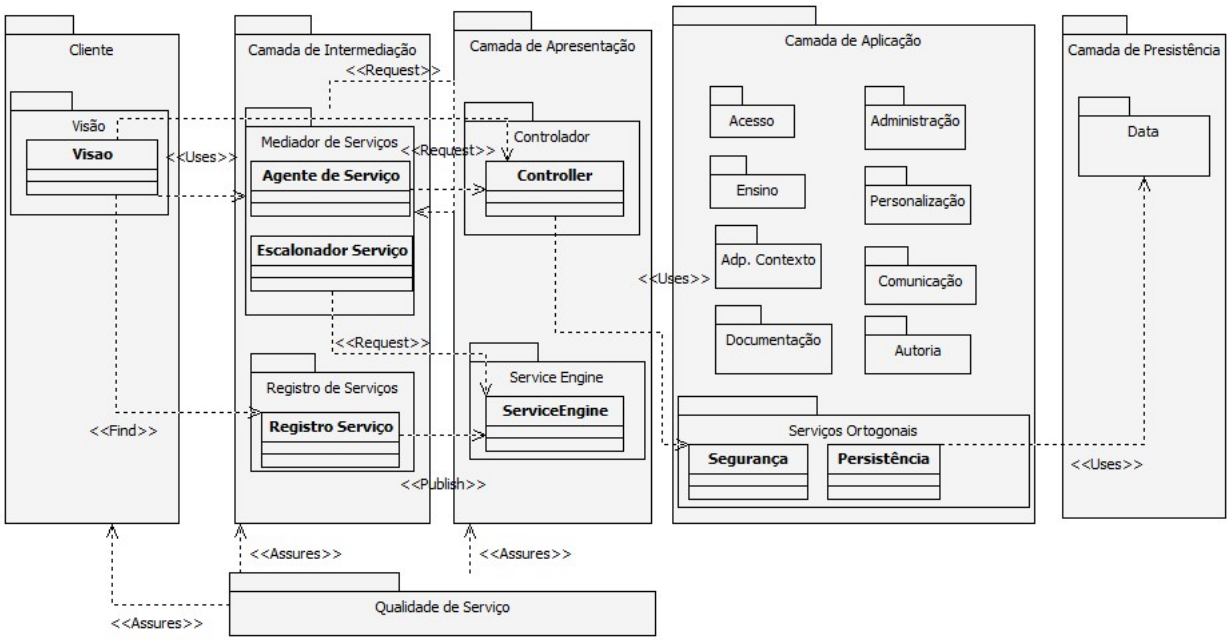


Figura 59 – Visão de módulos da *Ref-mLearning*.

É importante ressaltar que pelo fato de que a *Ref-mLearning* é baseada no estilo arquitetural SOA, os pacotes incorporados na visão de módulos podem estar localizados de modo distribuídos, podendo assim, pertencer a diferentes instituições.

Por isso, as notações de uso podem ser implementadas por meio de chamadas remotas (para serviços em outros servidores) ou até mesmo de modo local.

Visão em tempo de execução

A visão em tempo de execução (Figura 60) apresenta a estrutura de execução do ambiente educacional por meio de representações de componentes em diferentes níveis de abstração, interfaces providas e requeridas, fluxo de dados, base de dados, entre outros elementos.

No contexto da *Ref-mLearning*, a visão em tempo de execução foi representada contendo aspectos de tecnologias e protocolos, relacionados principalmente com *Web Services*, para ilustrar e facilitar o entendimento da arquitetura.

Porém, os autores ressaltam que a arquitetura é independente de tecnologias de implementação, podendo assim, ser implementada ou instanciada utilizando diferentes tecnologias e protocolos.

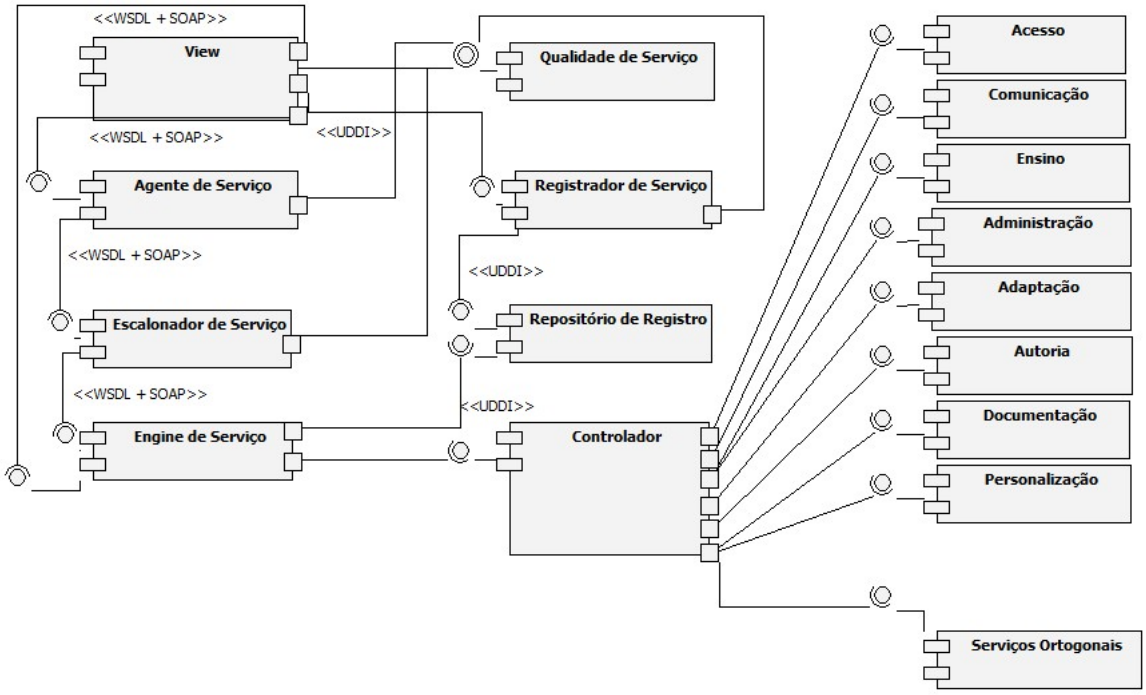


Figura 60 – Visão em tempo de execução da *Ref-mLearning*.

Visão de implantação

A visão de implantação (Figura 61) contém a parte física do sistema e a conexão entre suas sub-partes, interação hardware e software, com objetivo de colocar o sistema em operação.

A visão de implantação, no contexto da *Ref-mLearning*, mostra a organização física do ambiente educacional, os dispositivos móveis, locais de persistência dos dados, os periféricos e como eles se conectam entre si.

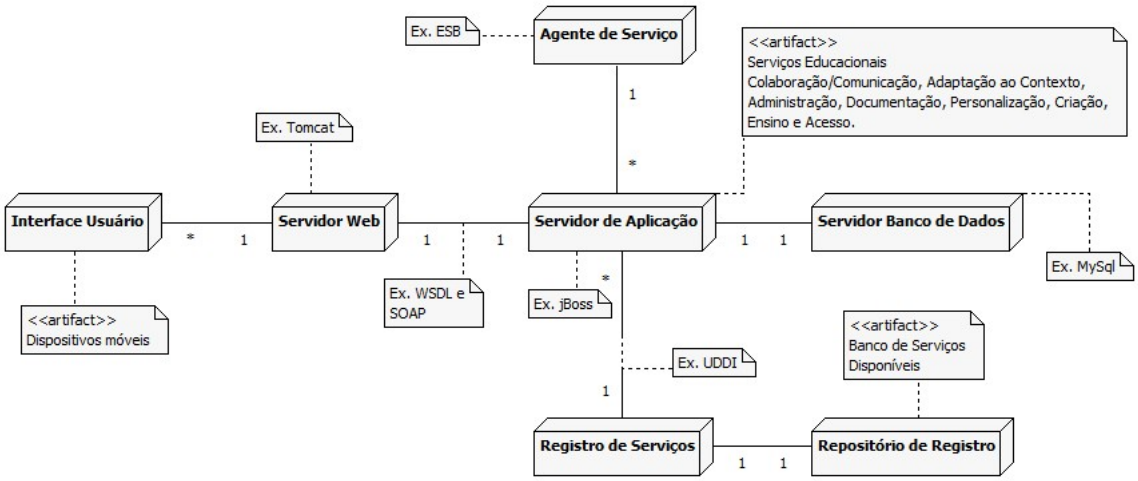


Figura 61 – Visão de Implantação da *Ref-mLearning*.

Diante das particularidades de um ambiente educacional móvel (dispositivos móveis, servidores, *broadcast* de dados, entre outras particularidades), a representação dos elementos físicos que dão suporte ao desenvolvimento e utilização de ambientes de aprendizagem móvel é importante, principalmente para a utilização por partes de desenvolvedores, integradores e testadores, facilitando os testes e produção do ambiente educacional.

Questionário - Versão Arquiteto

Aspectos Gerais

A arquitetura de referência possui elementos relacionados com a sua identificação e entendimento? Exemplo: Identificação (nome único); Tipo (descrevendo o tipo de aplicação); Objetivo (descrevendo o objetivo da arquitetura); Dependências (físicas ou lógicas).

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura de referência foi definida tendo como base uma motivação de aplicação. É útil para resolver e apoiar a resolução de problemas do dia a dia?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A justificativa da proposta da arquitetura de referência é clara e evidente?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A descrição e representação da arquitetura de referência possibilita um fácil entendimento por parte dos interessados (*stakeholders*)?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

Representa uma arquitetura de referência completa, sendo organizada e representada em aspectos de domínio, aplicação, infra estrutura e elementos transversais?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura de referência apresenta uma descrição precisa em relação ao seus componentes, facilitando o seu entendimento?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura define e descreve claramente os requisitos arquiteturais?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A solução da proposta pela arquitetura de referência é viável?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

As decisões de projeto são documentadas e justificadas?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

Aspectos Conceituais

A arquitetura incorpora em suas visões: descrições, leis, padrões e regulamentos em relação ao domínio educacional?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura é baseada em um modelo de atributos de qualidade específicos para ambientes de aprendizagem móvel?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

O conjunto de atributos de qualidade possui detalhamentos e relacionamentos entre os seus atributos e características?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura de referência possui um glossário/dicionário estruturado, em relação às terminologias e suas definições?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura possui um conjunto de requisitos funcionais, sendo estes, comuns ao contexto de ambientes de aprendizagem móvel?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

Os objetivos e necessidades da aplicação são explícitos e descritos pela arquitetura de referência?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura descreve (ou justifica a ausência) e apresenta limitações arquiteturais (referentes a níveis tecnológicos, de aplicação, de instanciação, entre outros)?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

Aspectos de Infra Estrutura

A infra estrutura da arquitetura pode ser representada por uma visão geral?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

Aspectos físicos (implantação, dispositivos, comunicação, entre outros) são representados e descritos pela arquitetura de referência?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

Aspectos lógicos (classes, pacotes, interfaces, entre outros) são descritos e representados na arquitetura?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura define a descreve as formas de comunicação externa que podem ocorrer com a aplicação?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura define a descreve as formas de comunicação interna que ocorrem na estrutura interna da aplicação?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

Aspectos de Modelagem

As relações entre as visões e componentes estão explicitamente documentadas?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

As visões arquiteturais são descritas e documentadas?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

As visões arquiteturais possuem uma modelagem formal, utilizando regras de relacionamento?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

Os aspectos transversais são representados de forma clara na modelagem da arquitetura de referência?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

Todos os aspectos de modelagem são complementados com descrições textuais?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

É possível instanciar arquiteturas concretas a partir da moldagem da arquitetura de referência?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

Aspectos SOA

A arquitetura possui aspectos e mecanismos para facilitar a captura, monitoramento, registro em relação ao não cumprimento dos requisitos de qualidade entre prestadores de serviços e clientes do serviço?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura flexibiliza o desenvolvimento de ambientes educacionais móveis escaláveis, capazes de evoluir de forma incremental por meio da adição de novos serviços?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura possibilita o tratamento de serviços educacionais de forma uniforme, ou seja, podendo ser publicados e localizados?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura apoia o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel com orientações normativas do seu uso por meio de descrições padronizadas?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura permite que as ferramentas educacionais implementadas em diferentes linguagens de programação e em diferentes plataformas possam ser facilmente integradas?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura fornece mecanismos para que os materiais didáticos, oferecidos como serviços, possam ser publicados e descobertos por outros aplicativos?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura permite que os serviços educacionais possam interagir diretamente (ou por meio do uso de ESB -Enterprise Service) com outras aplicações ou ambientes educacionais?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura permite a instanciação parcial do ambiente de aprendizagem móvel? (isto é, de acordo com a arquitetura, podem ser construídos ambientes sem a necessidade de implementar todos os módulos e serviços especificados)

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

Questionário - Versão Especialista

Aspectos Gerais

A arquitetura de referência possui elementos relacionados com a sua identificação e entendimento? Exemplo: Identificação (nome único); Tipo (descrevendo o tipo de aplicação); Objetivo (descrevendo o objetivo da arquitetura); Dependências (físicas ou lógicas).

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura de referência foi definida tendo como base uma motivação de aplicação. É útil para resolver e apoiar a resolução de problemas do dia a dia?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A justificativa da proposta da arquitetura de referência é clara e evidente?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A descrição e representação da arquitetura de referência possibilita um fácil entendimento por parte dos interessados (*stakeholders*)?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

Representa uma arquitetura de referência completa, sendo organizada e representada em aspectos de domínio, aplicação, infra estrutura e elementos transversais?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura de referência apresenta uma descrição precisa em relação ao seus componentes, facilitando o seu entendimento?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura define e descreve claramente os requisitos arquiteturais?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A solução da proposta pela arquitetura de referência é viável?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

As decisões de projeto são documentadas e justificadas?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

Aspectos Conceituais

A arquitetura incorpora em suas visões: descrições, leis, padrões e regulamentos em relação ao domínio educacional?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura é baseada em um modelo de atributos de qualidade específicos para ambientes de aprendizagem móvel?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

O conjunto de atributos de qualidade possui detalhamentos e relacionamentos entre os seus atributos e características?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura de referência possui um glossário/dicionário estruturado, em relação às terminologias e suas definições?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura possui um conjunto de requisitos funcionais, sendo estes, comuns ao contexto de ambientes de aprendizagem móvel?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

Os objetivos e necessidades da aplicação são explícitos e descritos pela arquitetura de referência?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura descreve (ou justifica a ausência) e apresenta limitações arquiteturais (referentes a níveis tecnológicos, de aplicação, de instanciação, entre outros)?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

Aspectos Domínio Educacionais

A arquitetura apoia o desenvolvimento de ambientes que fornecem informações sobre os cursos/disciplinas/tutorias?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura prove o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel com personalização do conteúdo educacional?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura apoia o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel que automatizam o processo de avaliação?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura apoia o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel que apoiam a autoria de material didático?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura permite o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel com segurança aos seus usuários em relação aos aspectos da mobilidade?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura permite o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel com gerenciamento de conteúdo?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura prove um desenvolvimento de ambientes de aprendizagem permitindo avaliações dos aprendizes, de maneira formal ou informal?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura prove o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel que apoiam a entrega de material didático? (sendo possível explorar diferentes interações de mídia)

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura permite o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel com diferentes mecanismos de feedback para a avaliação? (podendo ser realizadas por meio de pontuações, relatórios ou mesmo mensagens)

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura permite o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel com gerenciamento de usuários e cursos? (possibilitando diferentes perfis e visões)

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura permite ao ambiente de m-learning oferecer recursos para melhorar a interação social entre os usuários?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

Aspectos Domínio Educacional Móvel

A arquitetura prove o desenvolvimento de ambientes de m-learning com gerenciamento em relação a utilização de recursos? (permitindo que o ambiente para usar tipos apropriados de recursos em relação a dispositivos móveis, especialmente a largura de banda e consumo de memória)

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura oferece um desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel com mecanismos para o consumo eficiente de energia? (garantindo técnicas de conservação de energia para dispositivos móveis)

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura permite o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel proporcionando o conhecimento just- in-time? (permitindo o conhecimento do objeto de aprendizagem possa ser levado e representado em qualquer lugar, garantindo autenticidade em suas atividades)

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura garante uma acessibilidade adaptada para dispositivos móveis? (suportando diferentes linguagens da comunicação e cognição)

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura apoia o desenvolvimento de ambientes de m-learning com comunicação síncrona e assíncrona? (entre alunos/professores/sistema)

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura permite que atualizações e configurações do ambiente de aprendizagem móvel possam ser realizadas de forma simples e automática?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura permite que o ambiente de aprendizagem móvel possa sincronizar e coordenar suas informações com outros dispositivos móveis? (permitindo aos usuários a independência a esses dispositivos)

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura apoia o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel com portabilidade em relação aos dispositivos móveis? (sem a necessidade de aplicação de outras ações/configurações)

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura apoia o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem móvel que fornecem adaptação ao contexto? (garantindo a adaptação ao contexto do usuário em relação a problemas físicos, sociais e temporais)

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente

A arquitetura permite ao ambiente a colaboração entre os usuários por meio de wikis, fóruns, microblogging, redes sociais, entre outras ferramentas?

(__) - Atende Totalmente

(__) - Atende Parcialmente

(__) - Não Atende

(__) - Indiferente