Sistema de apoio a reabilitação neuromotora:
modelo de acompanhamento remoto para a terapia
do espelho

Rodolfo Dias Correia

SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito:

Assinatura: _____

Rodolfo Dias Correia

Sistema de apoio a reabilitação neuromotora: modelo de acompanhamento remoto para a terapia do espelho

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

Área de Concentração: Ciências de Computação e Matemática Computacional

Orientadora: Profa. Dra. Maria da Graça Campos Pimentel

USP – São Carlos
Novembro de 2015

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

C634s Correia, Rodolfo Dias
 Sistema de apoio a reabilitação neuromotora:
 modelo de acompanhamento remoto para a terapia do
 espelho / Rodolfo Dias Correia; orientadora Maria da
 Graça Campos Pimentel. - São Carlos - SP, 2015.
 69 p.

 Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
 em Ciências de Computação e Matemática Computacional)
 - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação,
 Universidade de São Paulo, 2015.

 1. Terapia do espelho. 2. Modelo de acompanhamento
 remoto. 3. Sistema de apoio a reabilitação
 neuromotora. 4. Aplicativos móveis. I. Pimentel,
 Maria da Graça Campos, orient. II. Título.

Rodolfo Dias Correia

**Support system for neuromotor rehabilitation: Remote
monitoring model for mirror therapy**

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

Concentration Area: Computer Science and
Computational Mathematics

Advisor: Profa. Dra. Maria da Graça Campos Pimentel

**USP – São Carlos
November 2015**

AGRADECIMENTOS

À minha família por todo o apoio e incentivo que me ofereceram durante o mestrado. Ao meu pai, mãe e irmãos que são tudo pra mim.

À minha noiva Natália pelo companheirismo e auxílio, sempre andando ao meu lado nos momentos bons ou ruins.

Aos meus amigos de Serrana que são verdadeiros irmãos e companheiros de vida. E aos meus amigos de trabalho por compartilharem comigo a conquista desta nova etapa.

À minha orientadora, Profa. Dra. Maria da Graça Pimentel, por todos os ensinamentos e conselhos durante este período, me ajudando a evoluir como estudante e acadêmico. Mas, principalmente, por toda sua paciência e compreensão me orientando e me ajudando a evoluir com o trabalho mesmo a distância e com contatos limitados.

Aos professores e colegas do ICMC, principalmente a doutoranda Bruna pela colaboração e disponibilização de seus achados e conhecimento para o desenvolvimento deste projeto.

À Profa. Dra. Vália M. C. Elui e a terapeuta Daniela Goia por toda ajuda e apoio na idealização e evolução do trabalho.

RESUMO

CORREIA, R. D.. **Sistema de apoio a reabilitação neuromotora: modelo de acompanhamento remoto para a terapia do espelho.** 2015. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC/USP), São Carlos – SP.

A terapia do espelho, técnica utilizada no tratamento de pacientes em reabilitação neurológica, tem mostrado bons resultados a um custo relativamente baixo. Nessa terapia, um espelho é colocado ao longo do plano sagital mediano do paciente entre os dois membros, superiores ou inferiores, com o intuito de transmitir estímulos visuais para o cérebro para induzir a ilusão dos membros em questão estarem se deslocando de forma síncrona. Considerando a simplicidade, os resultados obtidos e o baixo custo da terapia do espelho, neste trabalho exploramos recursos tipicamente disponíveis em dispositivos móveis do tipo *tablet* e *smartphones* para propor um modelo de acompanhamento remoto baseado na gravação e no compartilhamento de vídeos de sessões de terapia do espelho considerando dois tipos de usuários: terapeutas e pacientes. O modelo é apresentado na forma de um protótipo de um sistema de acompanhamento remoto de pacientes que utilizam a terapia do espelho em sua reabilitação. Especialistas avaliaram que o sistema apresenta grande potencial no auxílio à reabilitação de membros superiores, podendo ser utilizado por qualquer paciente em reabilitação pela terapia do espelho devido à sua facilidade de uso. Entre os trabalhos futuros viabilizados pela versão atual do sistema estão testes com pacientes em tratamento para verificação das implicações resultantes de sua utilização.

Palavras-chave: Terapia do espelho, Modelo de acompanhamento remoto, Sistema de apoio a reabilitação neuromotora, Aplicativos móveis.

ABSTRACT

CORREIA, R. D.. **Sistema de apoio a reabilitação neuromotora: modelo de acompanhamento remoto para a terapia do espelho.** 2015. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC/USP), São Carlos – SP.

The mirror therapy technique used in the treatment of patients in neurological rehabilitation has shown good results in a relatively low cost. In this therapy, a mirror is placed along the median sagittal plane of the patient between the two limbs, higher or lower, in order to transmit visual stimuli to the brain to induce the illusion of the limbs are moving synchronously. Considering the simplicity, the results obtained and the low cost of mirror therapy in this work we explore resources available on mobile devices like *tablet* and *smartphones* to propose a remote monitoring model based on recording and sharing videos of mirror therapy sessions considering two types of users: therapists and patients. The model is presented as a prototype of a remote monitoring system of patients that use mirror therapy in their rehabilitation. Experts evaluated that the system presents great potential to aid in the rehabilitation of the upper limbs and may be used by any patient due to its ease of use. Among the future work made possible by the current version of the system are the patients tests verifying the implications of the system in the therapy.

Key-words: Mirror therapy, Remote monitoring model, Support system for neuromotor rehabilitation, Mobile applications.

Sumário

Sumário	ii
Lista de Abreviaturas	iii
Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	vii
1 Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Motivação e Justificativa	3
1.3 Objetivos	4
1.4 Resultados	4
1.5 Estrutura do Documento	6
2 Fundamentação Teórica	7
2.1 Reabilitação neuromotora	7
2.1.1 Plasticidade Neural	8
2.2 Terapia do espelho	8
2.2.1 Outras práticas mentais	11
2.3 Abordagens para reabilitação neurológica	12
2.3.1 Resposta Visual	12
2.3.2 Interface cérebro-computador	14
2.4 MoViA (<i>Mobile Video Annotation Tool</i>)	15
2.5 Considerações finais	17
3 Trabalhos Relacionados	18
3.1 Acompanhamento e monitoramento remotos	18
3.2 Apoio remoto para pacientes em reabilitação neurológica	18
3.3 Considerações finais	23

4	Modelo de acompanhamento remoto para a terapia do espelho (MTEIR)	24
4.1	MTEIR - Modelo para terapia do espelho interativa remota	24
4.2	Prototipação evolutiva	30
4.2.1	Modelo de processo	30
4.2.2	Levantamentos de requisitos	31
4.2.3	Modelagem e arquitetura do sistema	33
4.2.4	Implementação	35
4.2.5	Banco de dados	36
4.2.6	Segurança	37
4.3	A solução <i>Tei</i>	37
4.3.1	Login e menu principal	37
4.3.2	Realizar sessão	38
4.3.3	Posicionando o dispositivo	39
4.3.4	Sessões avaliadas	40
4.3.5	Teste de lateralidade	41
4.3.6	Outros recursos	42
4.4	A solução <i>TeiT</i>	43
4.4.1	Menu iniciar e cadastro de pacientes	43
4.4.2	Inserir nova sessão	44
4.4.3	Avaliar sessão	44
4.4.4	Mensagens	46
4.5	Considerações finais	46
5	Avaliação da proposta de terapia remota e da usabilidade do sistema.	47
5.1	Avaliação de Usabilidade com o método <i>Think Aloud</i>	47
5.1.1	Avaliação de usabilidade do aplicativo <i>Tei</i>	48
5.1.2	Soluções de usabilidade - Aplicativo <i>Tei</i>	49
5.1.3	Avaliação de usabilidade do aplicativo <i>TeiT</i>	50
5.1.4	Soluções de usabilidade - Aplicativo <i>TeiT</i>	51
5.2	Avaliação do modelo proposto por meio de entrevistas	52
5.3	Considerações finais	55
6	Discussão e Conclusão	56
	Referências	59

Lista de Abreviaturas

PC	<i>'Personal Computer' - Computador Pessoal</i>
FMRP	<i>Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto</i>
HCRP	<i>Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto</i>
ICMC	<i>Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação</i>
SDK	<i>Software Development Kit</i>
USP	<i>Universidade de São Paulo</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>
TEI	<i>Terapia do Espelho Interativa</i>
TEIT	<i>Terapia do Espelho Interativa para Terapeutas</i>
MTEIR	<i>Modelo para Terapia do Espelho Interativa Remota</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
SSL	<i>Secure Sockets Layer</i>
TMS	<i>Transcranial Magnetic Stimulation</i>
NOI	<i>Neuro Orthopaedic Institute</i>
AVC	<i>Acidente Vascular Cerebral</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
JDBC	<i>Java Database Connectivity</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>

Lista de Figuras

2.1	(a) Membro saudável do lado esquerdo do espelho. (b) Membro saudável refletido no espelho: o paciente não visualiza a área correspondente ao membro ausente. Fonte: próprio autor	9
2.2	(a) Membro saudável do lado esquerdo do espelho, membro em reabilitação do lado direito do espelho. (b) Membro saudável refletido no espelho: o paciente não visualiza a área correspondente ao membro em reabilitação.	10
2.3	Lobos do córtex cerebral e regiões motoras e sensoriais do córtex cerebral. Fonte:Blausen [2014]; Gray [1918]	11
2.4	Vários sensores no corpo do usuário capturam coordenadas utilizadas na geração da imagem projetada: o usuário está movimentando apenas seu braço esquerdo, mas a imagem apresenta os dois braços movimentando-se de modo síncrono. Fonte: Molla and Boulic [2013, p.35]	13
2.5	Sensores capturam coordenadas utilizadas na geração da imagem visualizada por meio de um <i>head-mounted display</i> (a): a imagem apresenta duas mãos que se movimentam sincronamente (b). Fonte: Bach et al. [2010, p.184-185]	13
2.6	A webcam captura da imagem do membro saudável, um monitor posicionado horizontalmente apresenta a imagem do membro em reabilitação de modo síncrono e com ou sem atraso. Fonte: Lee et al. [2015, p.3]	14
2.7	Telas da ferramenta MoViA - Fonte: [Cunha et al., 2013]	16
3.1	Ambiente Web para revisão de sessões armazenadas na nuvem [Ruiz-Zafra et al., 2013]	20
3.2	Exemplo de uso de realidade aumentada para espelhar membro saudável [Trojan et al., 2014]	21

4.1	Posicionamento do dispositivo móvel de captura de vídeo em relação ao espelho e ao paciente.	26
4.2	Diagrama hierárquico de tarefas - Tarefas definidas para o MTEIR - Versão para pacientes	28
4.3	Diagrama hierárquico de tarefas - Tarefas definidas para o MTEIR - Versão para terapeutas	28
4.4	Diagrama hierárquico de tarefas - Aplicativo Tei como instância do MTEIR	29
4.5	Diagrama hierárquico de tarefas - Aplicativo TeiT como instância do MTEIR	29
4.6	O Paradigma da Prototipagem - Fonte: [Pressman, 2010] - pag.43 .	30
4.7	Diagrama de caso de uso dos aplicativos Tei e TeiT	33
4.8	Fluxo de informações entre as partes do sistema	34
4.9	Modelo de implementação	36
4.10	Telas do Tei - Login e Menu	38
4.11	Telas do Tei - Realizar Sessão	39
4.12	Telas do Tei - Posicionando o dispositivo: o espelho deve estar alinhado com a marcação (linha vertical (verde)). O botão de “Iniciar” e o de Concluir estão disponíveis para dar início à gravação ou para encerrar esta etapa.	39
4.13	Telas do Tei - Sessão avaliada	40
4.14	Telas do Tei - Lateralidade	41
4.15	Outros recursos e guia de exercícios	42
4.16	Telas do TeiT - Menu e Cadastro	43
4.17	Telas do TeiT - Inserir Sessão	44
4.18	Telas do TeiT - Avaliar Sessão	45
4.19	Telas do TeiT - Mensagem	46

Lista de Tabelas

3.1	Comparativo dos trabalhos relacionados considerando abordagem para captura dos dados e para disponibilização dos dados, dispositivos utilizados e adoção de método tradicional de fisioterapia ou outro.	22
4.1	Comparativo dos modelos de acompanhamento e o MTEIR	27

Introdução

1.1 Contextualização

Ao se discutir a evolução da computação é usual a referência a três gerações iniciais de computadores: a primeira nos quais se fazia uso de dezenas de milhares de válvulas; a segunda na qual *mainframes* faziam uso de transistores e o sistema operacional permitia o processamento em lote de programas; e a terceira na qual passaram a ser utilizados circuitos integrados e o sistema operacional implementava a técnica de multiprogramação¹ para permitir que os recursos pudessem ser utilizados simultaneamente por um grande número de usuários [Tanenbaum, 2001]. A razão entre o número usuários que utilizam o mesmo computador passou a ser diferente a partir da década de 70, quando teve início a proliferação de computadores pessoais (PCs). Essa evolução mudou completamente a maneira como tanto indivíduos como empresas realizavam tarefas e organizavam informações.

No início dos anos 90, Weiser [1991] propôs o conceito de computação ubíqua como uma nova quebra de paradigma: computadores deviam se tornar invisíveis e oferecer a usuários mecanismos naturais (considerando a tarefa e os recursos de comunicação naturais como voz, gestos e mobilidade) com aplicações e dispositivos integrados aos ambientes. Esse conceito demandava inovações em termos de sensores e de dispositivos que transmitiriam e apresentariam informações diretamente e que seriam de tamanhos variados: pequenos como um relógio de pulso (*inch-scale*), do tamanho de um livro (*foot-scale*), ou grandes como um

¹Multiprogramação permitia o processamento de vários programas ao mesmo tempo: um programa podia ser processado enquanto se esperava pelo processamento de entrada ou saída de outro.

mural (*yard-scale*). Além de identificar vários dos desafios de pesquisa em computação provocados pela evolução da computação ubíqua (em áreas como redes de computadores, interação usuário-computador e engenharia de software) Weiser [1993] observou a oportunidade e a necessidade de equipes multidisciplinares atuarem no desenvolvimento e na avaliação de aplicações de computação ubíqua. Na década que se seguiu foram inúmeras as aplicações de computação ubíqua desenvolvidas para investigar temas que envolvem, entre outros, informações de contexto, interfaces naturais (como voz e tinta eletrônica), e a captura e o acesso de experiências [Abowd et al., 2002].

Desde então está cada vez mais comum o uso de soluções de computação móvel e de computação em nuvem, o que tem permitido dispositivos pequenos como *tablets* e *smartphones* serem providos de recursos para acessar a Internet, executar aplicativos que demandam alto desempenho, enviar mensagens de áudio e vídeo em tempo real e em qualquer lugar [Ensmenger et al., 2013; Mousavinezhad and Hu, 2013] — apesar do uso de gestos, entre outros, ser ainda bastante desafiador [Jain et al., 2011; Malizia and Bellucci, 2012; Norman, 2010].

A computação está hoje inserida em praticamente todas as áreas de conhecimento. Uma das áreas que mais se beneficiou do avanço da computação foi a área da saúde, na qual aplicações em bioinformática, processamento de sinais e imagens médicas colaboraram para algumas das principais inovações na medicina nos últimos anos [Kanehisa and Bork, 2003; Li et al., 2010; Salzer, 2012]. A evolução também foi notável na área de sistemas de informação em saúde, nos quais os prontuários em papel estão dando lugar ao prontuário eletrônico; os sistemas de auxílio ao diagnóstico médico estão cada vez mais eficientes; e os sistemas de monitoramento remoto de paciente, em consequência do surgimento da computação móvel, estão, atualmente, em importante evidência [Haux, 2010; Shortliffe and Cimino, 2013]. Com relação à inserção da computação móvel na área da saúde, Ciaramitaro [2011] afirma que "*Mobile Healthcare* ou *mHealth*² é considerada uma abordagem revolucionária para a prestação de serviços de saúde, como o diagnóstico e o tratamento, a pesquisa e o monitoramento de pacientes."

No âmbito da reabilitação neurológica, recursos computacionais têm sido utilizado no desenvolvimento de várias técnicas de tratamento para aumentar a função de membros afetados incluindo, por exemplo, robótica assistida, realidade virtual e interfaces cérebro-computador [Fasoli et al., 2003; Lin et al.,

²Os termos *Mobile Healthcare* e *m-Health* são traduzidos de diversas formas em textos de língua portuguesa como, por exemplo, saúde móvel ou medicina móvel. O termo *m-Health* foi utilizado a primeira vez em [Istepanian et al., 2006]

2014; Millan et al., 2010; Shen et al., 2008]. Sem fazer uso de recursos computacionais, uma técnica de baixo custo que tem mostrado bons resultados é conhecida como terapia do espelho [Deconinck et al., 2014]. Nessa técnica um espelho é colocado ao longo do plano sagital mediano entre os dois membros, superiores ou inferiores, com o intuito de transmitir estímulos visuais para o cérebro de modo a induzir uma ilusão de os membros estarem se deslocando de forma síncrona [Deconinck et al., 2014; Lin et al., 2014; Sathian et al., 2000]. Esta terapia foi introduzida inicialmente por Ramachandran et al. [1995] no tratamento da dor fantasma em pacientes que tiveram membros amputados. Atualmente a terapia é também largamente utilizada na reabilitação neurológica principalmente em casos pós acidente vascular cerebral e de cirurgia de mão ou do plexo braquial [Arya and Pandian, 2013; Ezendam et al., 2009].

1.2 Motivação e Justificativa

A terapia do espelho é normalmente guiada por um terapeuta e envolve um protocolo estruturado de exercícios. Entretanto, pesquisas recentes têm investigado a possibilidade do uso da terapia do espelho sem a presença de um terapeuta, em casa, administrada pelo próprio paciente. Darnall and Li [2012], por exemplo, relatam que com o oferecimento de apenas uma descrição verbal básica da terapia do espelho ao paciente foi possível obter bons resultados. Durante as sessões o paciente poderia mover seu membro saudável da forma que quisesse e sem um protocolo de exercícios predefinido. Após três meses de terapia, o paciente relatou que a sua dor fantasma tinha praticamente acabado. Em um estudo anterior, Darnall [2009] realizou um estudo piloto que teve como objetivo investigar se os participantes, em sua maioria, conseguiriam realizar o tratamento da dor fantasma por meio da terapia do espelho sem orientação do terapeuta. Após dois meses, apenas cinco dos trinta e um participantes desistiram de tratamento. Como medida de adesão ao tratamento e para melhorar a avaliação dos resultados, os participantes foram convidados a acompanhar a sua terapia do espelho com um diário. Além destes casos, outros pesquisadores também mostraram exemplos do uso doméstico da terapia do espelho sem a presença do terapeuta [Grünert-Plüss et al., 2008; Nilsen and DiRusso, 2014].

As principais limitações encontradas pelos pesquisadores nesses estudos estão relacionadas à falta de informação sobre o quantidade e o tempo das sessões, o controle dos resultados e do processo, o tipo de exercício realizado e as limitações dos métodos de acompanhamento. Mesmo com o uso de um diário ou com a realização de entrevistas periódicas, muitas informações era perdidas uma vez que, com o passar do tempo, os participantes diminuía a quantidade de anotações e o volume de informações em suas respostas. Devido a este fator,

os pesquisadores não conseguiam estimar qual exercício era mais eficaz para aquele paciente ou qual a dose indicada. Outro limitante era a falta de controle sobre a aplicação da terapia, de modo que o terapeuta não conseguia identificar, por exemplo, qual a razão do fracasso da terapia do espelho em um paciente – podendo o resultado estar associado a uma prática errada da terapia que não pôde ser identificada.

1.3 Objetivos

Identificadas as limitações do uso doméstico da terapia do espelho reportadas na literatura, o principal objetivo deste trabalho foi propor um modelo de acompanhamento que apoia terapeutas e pacientes na realização de sessões remotas de terapia do espelho para reabilitação neuromotora sem a presença do terapeuta. O modelo é apresentado na forma de um protótipo de um sistema de acompanhamento remoto de pacientes. O sistema faz uso de tecnologias disponíveis em *smartphones* e *tablets* e métodos de captura, armazenamento e anotação de vídeo, com o intuito de diminuir a perda de informações em sessões de terapia do espelho realizadas sem o terapeuta. Explorando o conceito de computação ubíqua proposto por Weiser [1991], o trabalho propõe o uso de interfaces naturais e de aplicações de captura e acesso de experiências [Abowd et al., 2002] para permitir o compartilhamento de anotações contextualizadas [Cattelan et al., 2008] criadas via dispositivos móveis [Cunha et al., 2013].

Considerando o sistema proposto, os objetivos específicos deste trabalho foram: (i) elaborar um modelo de acompanhamento remoto para a terapia do espelho; (ii) desenvolver, utilizando um processo de prototipação evolutiva, o protótipo de um sistema apoio a reabilitação neuromotora que empregue o acompanhamento remoto da terapia do espelho; (iii) realizar avaliações de usabilidade para levantar os principais problemas com relação ao uso das interfaces do sistema e (iiii) avaliar, junto a uma equipe de terapeutas, as possíveis implicações do uso do sistema na realização da terapia do espelho remotamente.

1.4 Resultados

Neste trabalho propusemos um modelo de acompanhamento remoto baseado na gravação e no compartilhamento de vídeos de sessões de terapia do espelho considerando dois tipos de usuários: terapeutas e pacientes. O modelo, intitulado *Modelo para Terapia do Espelho Interativa Remota (MTEIR)*, é apresentado na forma de um protótipo de um sistema de acompanhamento remoto de pacientes que utilizam a terapia do espelho em sua reabilitação. Investigamos o uso de recursos disponíveis em dispositivos móveis do tipo *tablet* e *smartphones* em um sistema de acompanhamento remoto de pacientes que utilizam a tera-

pia do espelho em sua reabilitação. O sistema é composto por três elementos: os aplicativos *Tei* e *TeiT* desenvolvidos para dispositivos móveis com sistema operacional *Android*, e um servidor de armazenamento e distribuição. De modo sucinto:

- O *Tei* (*Terapia do Espelho Interativa*) é o aplicativo direcionado a pacientes que realizam a terapia do espelho. O *Tei* permite que o paciente grave com vídeo sessões por ele realizadas e envie o vídeo para o terapeuta. O aplicativo permite também que o paciente troque mensagens com o terapeuta, reveja vídeos de sessões anteriores que tenham sido analisados e autorizados pelo terapeuta, e realize exercícios de “aquecimento mental” por meio do teste de lateralidade. Além disso, o *Tei* dá acesso a vídeos tutoriais dos exercícios a serem realizados.
- O *TeiT* (*Terapia do Espelho Interativa para Terapeutas*) é o aplicativo direcionado a terapeutas que possuam pacientes que realizam a terapia do espelho. O aplicativo permite que o terapeuta planeje, acesse e avalie as sessões de seus pacientes. O *TeiT* permite que o terapeuta insira novas sessões que especificam os exercícios da sessão, a frequência de sessões a serem realizadas bem como o tempo de duração dessas sessões. O aplicativo permite também que o terapeuta troque mensagens com os pacientes, mantenha e visualize suas avaliações antigas, visualize os dados cadastrais dos pacientes e insira novos pacientes.
- O *Servidor de Armazenamento e Distribuição* é o serviço responsável por fazer a integração entre os dois aplicativos, bem como por armazenar as informações geradas pelos aplicativos — como, por exemplo, os vídeos gravados pelos pacientes, os dados cadastrais dos pacientes, as anotações realizadas pelos terapeutas e as prescrições de sessão.

Para definição do escopo do trabalho e para levantamento de informações e de requisitos para o sistema, realizamos entrevistas com profissionais de Terapia Ocupacional do Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto. Os recursos disponíveis no sistema procuram aumentar a ciência do terapeuta sobre as sessões que seus pacientes realizam em casa, isto sem prejudicar as vantagens e as facilidades desta abordagem.

Para avaliar o sistema foram realizadas avaliações de usabilidade, com protocolo *Think Aloud*, e entrevistas, ambos com a participação de terapeutas ocupacionais. As entrevistas permitiram levantar as impressões e as opiniões dos terapeutas sobre a proposta do trabalho.

1.5 Estrutura do Documento

Os próximos capítulos desta dissertação estão organizados como segue:

- o Capítulo 2 introduz conceitos importantes para facilitar o entendimento da proposta. Sua primeira seção discute conceitos e resultados de pesquisas recentes sobre a reabilitação neuromotora e a plasticidade neural. A terapia do espelho e outras praticas mentais são descritas na segunda seção deste capítulo. Na seção seguinte apresentamos algumas abordagens e tecnologias utilizadas na reabilitação neurológica na atualidade e, por fim, na última seção é apresentada a ferramenta de anotação MoViA [Cunha et al., 2013, 2015b], cujo design e implementação foram explorados na proposta do modelo MTEIR;
- o Capítulo 3 discute estudos sobre modelos de acompanhamento remoto de pacientes em tratamento, com foco em trabalhos que utilizam práticas mentais na reabilitação neuromotora;
- no Capítulo 4 serão apresentados o modelo proposto e o processo que levou ao desenvolvimento dos três componentes do sistema;
- no Capítulo 5 serão apresentados os resultados das avaliações de usabilidade e de entrevistas de avaliação realizadas com terapeutas; o último capítulo apresenta a conclusão do trabalho, discutindo contribuições, limitações e trabalhos futuros.

Fundamentação Teórica

Neste capítulo serão apresentados conceitos importantes para a compreensão do trabalho. Na Seção 2.1, discorreremos sobre a reabilitação neuromotora e a plasticidade neural. A Seção 2.2 traz definições e informações sobre a terapia do espelho e outras práticas mentais para estímulo de processos cerebrais. Em seguida, na Seção 2.3 discutimos abordagens atuais para a reabilitação neurológica. Por fim, na Seção 2.4 discutimos uma aplicação que, desenvolvida para a plataforma Android de dispositivos móveis do tipo *smartphones* e *tablets*, permite vários tipos de anotação em vídeo. Essa ferramenta, chamada MoViA, foi utilizada no desenvolvimento do modelo de acompanhamento proposto neste trabalho.

2.1 Reabilitação neuromotora

Segundo Selzer et al. [2006], “Reabilitação neurológica é a especialidade clínica dedicada à restauração e a maximização de funções que foram perdidas devido aos prejuízos causados por lesão ou doença do sistema nervoso”, possuindo vertentes como a reabilitação cognitiva e a reabilitação neuromotora. A reabilitação neuromotora pode ser descrita como a capacidade de explorar a plasticidade neural com o objetivo de auxiliar as pessoas a recuperarem sua capacidade motora [Dietz et al., 2012; Moller, 2006], e é normalmente associada ao treinamento repetitivo e intenso. Esta é uma área multidisciplinar, com atuação de fisioterapeutas, terapeutas ocupacionais, médicos, enfermeiros e, mais recentemente, engenheiros e profissionais de computação.

Considerando que cada paciente possui demandas únicas, os processos utilizados na reabilitação são distintos de tratamento para tratamento. Como

consequência, os dispositivos e as tecnologias desenvolvidas para reabilitação precisam ser adaptáveis e configuráveis, permitindo que os profissionais ofereçam um tratamento personalizado e, assim, ampliem os resultados bem sucedidos [Theng, 2014].

Nos últimos anos, diversas tecnologias surgiram para melhorar os processos de reabilitação. Isso foi possível devido não apenas aos avanços da tecnologia mas também ao melhor entendimento sobre a capacidade de áreas saudáveis do cérebro em reorganizar suas conexões e compensar as funções perdidas em regiões danificadas [Moller, 2006].

2.1.1 Plasticidade Neural

Uma das mais importantes características do cérebro humano é a capacidade da atividade neural de modificar a função de um circuito neural anteriormente estabelecido a partir de novas experiências [Citri and Malenka, 2008]. Quando aprendemos uma nova informação ou adquirimos uma nova habilidade, essa experiência altera redes neurais, caminhos, mapas ou circuitos constituídos anteriormente [Wall et al., 2002]. Esta característica vai de encontro a ideia, que durou mais de um século, de que as conexões no cérebro são estabelecidas durante o desenvolvimento do feto e na primeira infância, e que nenhuma nova conexão poderia ser formada na fase adulta [Ramachandran, 2005].

Quando ocorre algum dano regional no cérebro, acontece normalmente uma reorganização funcional, em que os circuitos neurais saudáveis renovam suas ligações sinápticas na tentativa de restabelecer as funções perdidas [Purves, 2012]. Estudos em reabilitação motora com foco no córtex motor primário trouxeram um melhor entendimento sobre a plasticidade neural e recuperação funcional. Esses estudos exploraram o fato de que os déficits motores são normalmente lateralizados e localizados em uma parte específica do corpo [Purves, 2012].

2.2 Terapia do espelho

A terapia do espelho é uma das principais alternativas para reabilitação e recuperação da função motora, inclusive por ser uma abordagem simples e de baixo custo. Essa terapia foi introduzida inicialmente por Ramachandran et al. [1995] no tratamento da dor fantasma em pacientes que tiveram membros amputados. A dor fantasma corresponde a uma sensação de dor em um membro que não existe no corpo do paciente devido a uma amputação ou a uma deficiência congênita [Giummarra et al., 2007], sendo a ocorrência nos pacientes heterogênea em termos de intensidade, tempo de desenvolvimento e de duração de uma ocorrência, entre outros [Foell and Flor, 2013].

Atualmente a terapia do espelho é também largamente utilizada na reabilitação neurológica principalmente em casos pós acidente vascular cerebral e de cirurgia de mão ou do plexo braquial [Arya and Pandian, 2013; Ezendam et al., 2009].

Para realizar a terapia, um espelho é colocado ao longo do plano sagital mediano do paciente, entre seus dois membros — de modo que de um lado do espelho fique o membro saudável e do outro o membro deficiente (ou ausente).

No caso do tratamento de dor fantasma de um membro ausente, o paciente se posiciona de maneira que, ao olhar para o espelho, visualize o reflexo do membro saudável na área em que estaria o membro ausente e, além disso, ele não visualiza a área correspondente ao membro ausente — como ilustrado na Figura 2.1.

Figura 2.1: (a) Membro saudável do lado esquerdo do espelho. (b) Membro saudável refletido no espelho: o paciente não visualiza a área correspondente ao membro ausente. Fonte: próprio autor

A Figura 2.2 ilustra uma situação em que um dos dois membros está em reabilitação: o paciente é posicionado de maneira que, ao olhar para o espelho, visualize o reflexo do membro saudável sobrepondo a imagem do membro deficiente e, além disso, não deve ser possível visualizar a área correspondente ao membro em reabilitação.

De modo geral, na terapia do espelho, ao serem realizados movimentos com o membro saudável, seu reflexo é apresentado no espelho na posição em que estaria o membro deficiente (ou ausente). Essa estratégia tem por objetivo transmitir estímulos visuais para o cérebro de modo a induzir uma ilusão de que os membros — o saudável e o deficiente (ou ausente) — se deslocam de forma síncrona [Deconinck et al., 2014; Lin et al., 2014; Sathian et al., 2000].

Figura 2.2: (a) Membro saudável do lado esquerdo do espelho, membro em reabilitação do lado direito do espelho. (b) Membro saudável refletido no espelho: o paciente não visualiza a área correspondente ao membro em reabilitação.

Os mecanismos que envolvem a terapia do espelho ainda não são totalmente conhecidos. Alguns trabalhos investigaram as alterações promovidas pela terapia do espelho no cérebro utilizando como ferramenta a análise de imagens de ressonância magnética funcional [Hamzei et al., 2012; Matthys et al., 2009] ou o uso da estimulação magnética transcraniana (em inglês, TMS: *Transcranial Magnetic Stimulation*) [Fukumura et al., 2007]. As principais hipóteses estudadas atualmente podem ser divididas em duas categorias: um mecanismo envolvendo o córtex motor primário e a outra envolvendo o sistema de neurônios espelho.

O córtex motor primário fica localizado na parte posterior do lobo frontal (Figura 2.3), entre o córtex pré-motor e o córtex somatossensorial, e trabalha em conjunto com o córtex pré-motor na sintetização e execução dos movimentos [Lamont et al., 2011]. Trabalhos como os de Shinoura et al. [2008] e Tominaga et al. [2009] mostraram, basicamente, que durante a realização da terapia do espelho o córtex motor primário não consegue identificar totalmente se é o membro real ou o reflexo do membro que está efetuando o movimento. Por outro lado, a atuação do sistema neurônio espelho pode estar relacionada aos neurônios encontrados no lobo frontal e lobo parietal. Este sistema dispara tanto quando uma pessoa realiza um movimento, como quando este indivíduo observa outra pessoa executando aquela ação [Ramachandran and Altschuler, 2009]. Já em um levantamento bibliográfico extenso, Carvalho et al. [2013] identificaram que os trabalhos argumentam que o recrutamento dos neurônios motores é promovido pela interação entre visão, propriocepção e comandos motores, o que pro-

(a) lobos do córtex cerebral: lobo frontal em azul, lobo parietal em amarelo, lobo temporal em verde e occipital em rosa

(b) regiões motoras e sensoriais do córtex cerebral: córtex primário motor (rosa escuro) está posicionado entre o córtex somatossensorial (azul escuro) e o córtex pré-motor (rosa claro)

Figura 2.3: Lobos do córtex cerebral e regiões motoras e sensoriais do córtex cerebral. Fonte: Blausen [2014]; Gray [1918]

move a reorganização do córtex e, como consequência, a recuperação funcional pacientes que sofreram um acidente vascular cerebral.

Os efeitos benéficos da terapia do espelho sobre a dor fantasma e a reabilitação de membros foram estudados e confirmados por diversos estudos, entre eles MacLachlan et al. [2004]; Sumitani et al. [2008]; Yavuzer et al. [2008] e Rosén and Lundborg [2005]. Nos últimos anos, a terapia se tornou mais popular se transformando em uma ferramenta potencializadora e frequente no tratamento neuromotor. No Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto, onde este trabalho foi desenvolvido, a terapia é realizada principalmente com pacientes em casos de pós-cirurgia de plexo braquial. Nesses casos, cada sessão tem, normalmente, duração de quinze minutos e os pacientes realizam exercícios como, por exemplo, flexão de dedos, desvio ulnar e radial, supinação e pronação do braço e extensão e flexão do punho.

2.2.1 Outras práticas mentais

Os resultados obtidos com o uso da ilusão do espelho em reabilitação ajudaram a mudar a maneira como os profissionais planejam o tratamento em casos, por exemplo, da dor fantasma, da hemiplegia causada por acidente vascular cerebral e da cirurgia de plexo braquial ou mão. Entretanto, a terapia do espelho não é a única prática mental capaz de estimular os processos cerebrais a promover a reorganização funcional, uma vez que métodos como a discriminação de lateralidade e a prática de imagem motora também têm obtido sucesso neste propósito.

De acordo com Nico et al. [2003] e Ietswaart et al. [2011], quando imaginamos

a realização de um movimento ou pedimos para um indivíduo julgar se uma dada imagem é de uma mão esquerda ou de uma mão direita, o conjunto de transformações mentais envolvidas nestes processos correspondem, praticamente, às mesmas operações necessárias para o movimento real das mãos. Um exemplo prático da utilização desses métodos é o teste de discriminação de lateralidade, em que um conjunto de imagens de mãos é apresentado ao paciente que precisa decidir se aquela imagem é de uma mão esquerda ou direita. Ao final do teste, o paciente fica sabendo quantos acertos e quantos erros ele obteve.

Levando em consideração essas técnicas, Moseley [2004] e os pesquisadores do Instituto Neuro Ortopédico da Australásia (em inglês, NOI - *Neuro Orthopaedic Institute*) desenvolveram o processo *graded motor imagery*. Nesse processo de reabilitação, eles combinam a discriminação de lateralidade, a imaginação motora e a terapia do espelho para potencializar o tratamento da dor e recuperação de movimentos [Butler, 2015].

2.3 Abordagens para reabilitação neurológica

Décadas após o desenvolvimento de técnicas clássicas de reabilitação, como o tratamento neuro evolutivo [Bobath, 1985, 1990] e a facilitação neuromuscular proprioceptiva [Knott and Kabat, 1954], a reabilitação neurológica evoluiu significativamente, assim como os métodos e as tecnologias a ela relacionadas [Carr and Shepherd, 2006]. Entre as tecnologias computacionais que têm sido utilizadas na reabilitação neurológica estão a realidade aumentada ou virtual (e.g. [Kang et al., 2012]), jogos (e.g. [King et al., 2010]), interface cérebro-computador [Nicolas-Alonso and Gomez-Gil, 2012] e dispositivos robóticos [Nordin et al., 2014]. Essas tecnologias têm sido utilizadas também em abordagens híbridas, que combinam diferentes tecnologias com o objetivo de aumentar ampliar o impacto dos resultados.

2.3.1 Resposta Visual

Terapias que utilizam técnicas baseadas em resposta visual procuram criar mecanismos para iludir o cérebro por meio da indução de um conflito entre propriocepção¹ e visão. Entre as técnicas que utilizam esta abordagem, podemos destacar a terapia do espelho, técnica explorada neste trabalho e discutida na Seção 2.2, e a realidade aumentada ou virtual.

A realidade virtual pode ser descrita como uma simulação interativa em tempo real criada em computador que é capaz de detectar o estado atual do paciente e substituir, ou aumentar, a resposta sensorial de alguns sentidos. Esta prática pode proporcionar ao usuário a noção de imersão em ambientes que contêm

¹Propriocepção é percepção inconsciente do movimento e da orientação espacial decorrente de estímulos não visuais gerados pelo próprio corpo [Mifflin, 2015].

objetos e eventos semelhantes aos do mundo real [Mihelj et al., 2013] – sendo permitido ao usuário interagir com os objetos e responder ou causar eventos.

Diversos estudos exploraram a imersão proposta pela abordagem de realidade virtual com foco na reabilitação. Por exemplo, Bach et al. [2010], Molla and Boulic [2013] e Barton et al. [2014] utilizaram técnicas de realidade virtual adotando basicamente o mesmo princípio da terapia do espelho. Sensores são responsáveis por capturar os movimentos do membro saudável e espelhar um membro virtual no local onde deveria estar o membro real danificado. Para visualização pelo paciente, Molla and Boulic [2013] utilizam projeção, como ilustrado na Figura 2.4, enquanto Bach et al. [2010] utilizam um *head-mounted display*, como ilustrado na Figura 2.5. Assim, durante a sessão o paciente tem a ilusão de que seus dois membros estão se movendo sincronicamente.

Figura 2.4: Vários sensores no corpo do usuário capturam coordenadas utilizadas na geração da imagem projetada: o usuário está movimentando apenas seu braço esquerdo, mas a imagem apresenta os dois braços movimentando-se de modo síncrono. Fonte: Molla and Boulic [2013, p.35]

Figura 2.5: Sensores capturam coordenadas utilizadas na geração da imagem visualizada por meio de um head-mounted display (a): a imagem apresenta duas mãos que se movimentam sincronamente (b). Fonte: Bach et al. [2010, p.184-185]

Os custos e os esforços envolvidos no uso de realidade virtual pode ser com-

pensador. Em seus estudos, Kang et al. [2012] reportam que a abordagem com realidade virtual apresentou resultados mais significativos do que com o espelho tradicional.

Lee et al. [2015] apresentam uma abordagem alternativa para captura e visualização. Uma webcam é utilizada para captura da imagem do membro saudável, e a imagem do outro membro é apresentada em um monitor de vídeo posicionado na horizontal — ao lado do membro saudável (como ilustrado no esquema apresentado na Figura 2.6). O estudo permitiu que os autores comparassem o efeito da inserção de uma atraso na apresentação da imagem refletida em relação ao membro saudável: os autores verificaram tanto a diferença entre utilizar ou não a imagem refletida, como a diferença entre apresentar a imagem refletida com e sem atraso.

Figura 2.6: A webcam captura da imagem do membro saudável, um monitor posicionado horizontalmente apresenta a imagem do membro em reabilitação de modo síncrono e com ou sem atraso. Fonte: Lee et al. [2015, p.3]

Outros trabalhos, como os de King et al. [2010] e Flores et al. [2008], investigaram a utilização de jogos interativos na reabilitação com a intenção, principalmente, de aumentar o interesse e a motivação de pacientes em reabilitação.

2.3.2 Interface cérebro-computador

Interfaces cérebro-computador são sistemas que utilizam os sinais provenientes do cérebro para controlar dispositivos externos, tais como computadores, robôs, ou próteses neurais, sem a atuação de nervos ou de músculos [McFarland and Wolpaw, 2011; Nicolas-Alonso and Gomez-Gil, 2012; Wolpaw et al., 2002]. Estas interfaces podem ser baseadas em sinais oriundos de diversas técnicas como, por exemplo, a magnetoencefalografia (MEG), a ressonância magnética funcio-

nal (fMRI) ou o tradicional eletroencefalograma (EEG). Essas técnicas podem ser utilizadas isoladamente ou combinadas entre si, melhorando sua eficácia [McFarland and Wolpaw, 2011].

Interfaces cérebro-computador têm sido utilizadas na área de tecnologia assistiva, principalmente para auxiliar na movimentação e na comunicação de pacientes com doenças altamente incapacitantes como a esclerose lateral amiotrófica: são exemplos os dos trabalhos de Chaudhary et al. [2015]; Kodi et al. [2013] e de Schettini et al. [2015]. Em trabalhos realizados em reabilitação neurológica, como os de Badia et al. [2013], de Correa-Agudelo et al. [2015] e de Munoz et al. [2014], as interfaces cérebro-computador foram utilizadas como meio de interação com jogos ou ambiente virtuais, sendo que nesses casos os pacientes podiam controlar ou interagir com elementos virtuais utilizando unicamente o cérebro. Outros exemplos recentes são os trabalhos de Rohm et al. [2013] e de Tavella et al. [2010], nos quais foram utilizadas próteses neurais integradas à interface cérebro-computador como ferramenta para controle motor.

2.4 MoViA (*Mobile Video Annotation Tool*)

Dispositivos computacionais móveis são assim chamados pelo fato de manterem sua capacidade computacional quando em movimento [B'far, 2004]. Além dos já tradicionais computadores portáteis (*notebooks*), estão cada vez mais comuns e acessíveis os *tablets* e *smartphones*. Por sua mobilidade, porte e conectividade, entre outros, são várias as tarefas que um sistema de computação móvel pode fazer e que um sistema de computação tradicional não pode.

Dentre os aplicativos móveis, podemos destacar aqueles desenvolvidos para o sistema operacional *Android*, que é um sistema de código aberto baseado em Linux, desenvolvido atualmente pela empresa Google em conjunto com empresas de software, hardware e telecomunicações [Android Developers, 2013]. Na área de computação móvel, não há uma escolha óbvia sobre qual plataforma ou linguagem usar, entretanto, o ambiente Android se destaca por possuir código aberto e ser o sistema operacional móvel mais utilizado no mundo – sendo um sucesso mesmo apesar da concorrência com a plataforma iOS, entre outras [Butler, 2011].

A ampla utilização de dispositivos móveis tem permitido expansão na quantidade e na qualidade dos serviços que utilizam essa plataforma – muitos dos quais são serviços personalizados, como no caso de apoio a atividade física [Kranz et al., 2013] [Osmani, 2015]. Em alguns casos, hardware adicional pode ser integrado para apoio na coleta de dados, como no caso de Kranz et al. [2007] e Janidarmian et al. [2014]. Ainda, alternativas que fazem uso de óculos especiais também têm sido investigadas [Sörös et al., 2013] [Jalaliniya and Pederson,

2015].

Explorando conceitos de computação ubíqua Weiser [1993] de modo geral, e os de informações de contexto, interfaces naturais, e de captura e acesso de experiências ao vivo [Abowd et al., 2002] de modo particular, a ferramenta MoViA (*Mobile Video Annotation Tool*) foi desenvolvida por Cunha et al. [2013] para permitir que seus usuários façam anotações em um vídeo utilizando um dispositivo Android. Essa ferramenta possibilita a um usuário incluir anotações de texto, áudio e de tinta digital nas cenas do vídeo escolhido enquanto assiste o vídeo – assim, o usuário *comenta enquanto assiste* [Cattelan et al., 2008]. Essa abordagem é uma alternativa ao uso de ferramentas que demandam equipamentos adicionais, como o kinect, ou exploram abordagens que demandam computação mais intensiva como, como exemplo, visão computacional [Gillies et al., 2015].

A MoViA possui também recursos avançados de navegação, de modo que é possível escolher um momento específico do vídeo e acessá-lo diretamente, além de possibilitar o compartilhamento de comentários em texto e a captura de informações de contexto. A Figura 2.7a apresenta a principal tela da ferramenta, que dá acesso a funções de inserção de comentários e de anotações. Na Figura 2.7b é apresentada a tela de navegação, na qual o usuário pode visualizar seus comentários de texto, o tempo de execução de cada comentário e alterá-los se desejar.

Figura 2.7: Telas da ferramenta MoViA - Fonte: [Cunha et al., 2013]

Os recursos disponíveis na ferramenta MoViA foram essenciais para a forma-

lização da proposta de acompanhamento remoto para a terapia do espelho. A MoViA foi primeiramente apresentada em reuniões com terapeutas ocupacionais e o objetivo inicial era utilizá-la na gravação e avaliação de algumas terapias presenciais. Porém, durante essas reuniões as terapeutas relataram as dificuldades de acompanhar as sessões de terapia do espelho realizadas por pacientes sozinhos em suas casas, o que se tornou motivação para o desenvolvimento do atual modelo de acompanhamento.

A MoVia, em sua versão adaptada, possui um papel fundamental no trabalho proposto nesta dissertação, uma vez que é responsável por oferecer recursos para que o terapeuta possa avaliar os vídeos enviados por seus pacientes.

2.5 Considerações finais

Os fundamentos de reabilitação neuromotora e plasticidade neural, descritos na Seção 2.1, tiveram importância vital no desenvolvimento do trabalho proposto nesta dissertação. Isto porque, a partir do entendimento desses temas, verificamos a possibilidade de utilizar técnicas de sistemas multimídia interativos para propor um ambiente inovador para área de reabilitação neurológica. Na Seção 2.2 apresentamos conceitos sobre a terapia do espelho e outras práticas mentais de reabilitação. Discutimos também na Seção 2.3, abordagens atuais de reabilitação neuromotora. Essas abordagens serviram de inspiração e orientação para o desenvolvimento de nosso modelo de acompanhamento. Estes conceitos serviram de base teórica para a proposta de um modelo de acompanhamento centrado nos usuários envolvidos: terapeutas e pacientes.

As características apresentadas na Seção 2.4 foram essenciais para escolher os dispositivos móveis com sistema operacional Android como plataforma para o desenvolvimento dos aplicativos. Além disso, observamos que a ferramenta MoViA contribuiu para este trabalho não apenas na parte técnica como também na idealização da proposta.

Trabalhos Relacionados

Neste capítulo serão discutidos trabalhos que envolvem monitoramento ou acompanhamento remoto de pacientes em reabilitação física e neurológica.

3.1 Acompanhamento e monitoramento remotos

O desenvolvimento de sistemas de acompanhamento ou de monitoramento remoto de pacientes em tratamento progrediu consideravelmente nos últimos anos devido, principalmente, à popularização de dispositivos móveis com uma grande diversidade de sensores e à disponibilidade de recursos de rede. A literatura reporta diversos trabalhos com esta abordagem, e sistemas de monitoramento para pacientes com problemas cardíacos [Cinaglia et al., 2012; Lan et al., 2012], diabetes [Demidowich et al., 2012; El-Gayar et al., 2013], distúrbios mentais [de Sá et al., 2007; Gravenhorst et al., 2015; Osmani et al., 2013] ou de idosos [Lorenz et al., 2007]. Vários desses sistemas tiveram como antecessores trabalhos como o de uma casa [Kidd et al., 1999] e de um condomínio [Stanford, 2002] que permitem o acompanhamento de idosos em suas residências.

3.2 Apoio remoto para pacientes em reabilitação neurológica

Resultados recentes reportam a investigação de plataformas de reabilitação remota para pacientes em reabilitação neurológica, como os trabalhos de Ferraris et al. [2014], de Ruiz-Zafra et al. [2013] e de Boutrup et al. [2013].

Em sua pesquisa, Ferraris et al. [2014] prepuseram uma solução de reabilitação remota para membros superiores com foco em pacientes que possuem alguma deficiência motora devido à doença de Parkinson. O sistema é composto por um programa voltado para o paciente conectado a um programa direcionado

para os profissionais de saúde responsáveis por aquele paciente – controlados por um serviço que emprega arquitetura de nuvem. O sistema permite que os pacientes realizem um teste neurológico, utilizando a escala unificada de avaliação da doença de Parkinson, e exercícios desenvolvidos por neurologistas utilizando a Kinect¹. Os dados resultantes da execução de exercícios pelos pacientes podem ser acessados pelos profissionais, o que possibilita a avaliação do estado atual do tratamento. O sistema possui também recursos como vídeo tutoriais e troca de mensagens entre os pacientes e terapeutas.

Ruiz-Zafra et al. [2013] desenvolveram uma plataforma para acompanhar o processo de reabilitação de pacientes com lesões cerebrais. A plataforma é composta por um ambiente Web e um aplicativo móvel para Android, que permite que uma sessão de tratamento seja gravada ou revista enquanto a frequência cardíaca é monitorada por um sensor. Os dados gerados pelo aplicativo são armazenados em um serviço que emprega arquitetura de nuvem, possibilitando aos profissionais acessá-los posteriormente utilizando o ambiente Web ilustrado na Figura 3.1. Terapeutas, médicos e familiares podem utilizar o ambiente Web para rever, a qualquer momento, os registros sobre a frequência cardíaca e os vídeo gravados. Por meio do ambiente Web, os profissionais podem também definir novas sessões ou novos exercícios, além de definir um limiar máximo para a frequência cardíaca. Caso o limiar seja alcançado, o sistema oferece opções de relaxamento para tentar diminuir a frequência. A plataforma foi testada com três pacientes com lesões cerebrais e obteve bons resultados na reabilitação e também reduziu o número de deslocamentos.

Boutrup et al. [2013] propuseram um sistema para apoio à aderência dos pacientes aos programas de reabilitação física. O principal objetivo do trabalho foi utilizar elementos que oferecem suporte remoto à reabilitação e aumentam a aderência e a motivação dos pacientes que realizam parte do tratamento em casa. Seu sistema é composto por três módulos:

- *Levantamento de dados sobre os exercícios realizados em casa:* os pacientes podem gravar vídeos ou tirar fotografias de seus exercícios utilizando a câmera do seu dispositivo, e compartilhar essas informações com os terapeutas mostrando as características do ambiente, o que pode ajudar os profissionais a ajustarem as prescrições. O sistema permite também que os usuários façam anotações de texto ou áudio nas gravações previamente realizadas.
- *Automonitoramento da dor:* O paciente pode indicar durante os exercícios o nível de dor que está sentindo, gerando assim um histórico de seu desen-

¹Kinect[®] é uma linha de sensores de movimento desenvolvidos para os consoles de videogame da Microsoft[®], permitindo aos usuários interagir com o console utilizando gestos ou comandos de voz.

Figura 3.1: Ambiente Web para revisão de sessões armazenadas na nuvem [Ruiz-Zafra et al., 2013]

volvimento. Estes registros podem ser acessados pelo paciente permitindo que ele tenha uma visão geral, o que pode melhorar sua motivação e sua aderência ao tratamento.

- *Comparação de resultados com pares:* Os pacientes podem acessar as informações referentes aos exercícios de outros pacientes. Este módulo tem o propósito de motivar os usuários: ao permitir comparações e competições, os proponentes esperam que um paciente que perceba que está ficando atrasado possa redobrar sua motivação com a intenção de chegar ao nível de seus companheiros de tratamento.

Outros pesquisadores utilizaram a realidade aumentada como base em seus trabalhos de tratamento remoto. No trabalho de Trojan et al. [2014], por exemplo, os pesquisadores utilizaram um tipo de capacete equipado com duas câmeras para captura de vídeo. Este dispositivo captura a imagem da mão sadia posicionada na frente do corpo, espelha a imagem dessa mão e mostra para o paciente o resultado na tela (Figura 3.2).

Ainda no trabalho de Trojan et al. [2014], um conjunto de tarefas foi desenvolvido sob a forma de jogos de computador com intuito de motivar a prática diária dos exercícios. O sistema armazena dados de exercícios e os transmite para um servidor central, permitindo que profissionais monitorem o progresso dos treinamentos. Esta abordagem possui um grande diferencial em tratamentos para reabilitação, isto porque os membros não são recriados por computação gráfica, eles são filmados e espelhados, aumentando assim ilusão de que os dois membros pertencem realmente ao paciente. Além disso, como os dados referentes às terapias podem ser acessados remotamente pelos terapeutas, o tratamento

Figura 3.2: Exemplo de uso de realidade aumentada para espelhar membro saudável [Trojan et al., 2014]

pode ser direcionado sem a necessidade do paciente retornar para uma sessão presencial.

Utilizando tecnologias da época, Golomb et al. [2009] apresentam um exemplo de sistema de monitoramento utilizando realidade virtual e vídeo games. Os pesquisadores desenvolveram um sistema utilizando uma luva com sensores, um vídeo game Playstation 3[®] e um modem ADSL conectado ao vídeo game. Este sistema foi desenvolvido para acompanhar pacientes com paralisia cerebral hemiplégica que realizavam tratamento para a reabilitação das mãos. Os profissionais monitoravam, a distância, o tempo da sessão e as mudanças na área de movimentação do dedo durante os exercícios. O sistema foi avaliado com três adolescentes com paralisia cerebral e obteve bons resultados com os três. Entretanto, os pesquisadores ressaltaram a importância manter uma comunicação constante por meio de telefonemas ou e-mails.

Na literatura não encontramos estudos ou sistemas de monitoramento ou acompanhamento remoto especificamente em terapia do espelho. No entanto, Darnall [2009] apresentou as implicações da administração da terapia em casa sem a presença de um terapeuta. Nesse estudo, 31 pacientes relataram em um diário suas impressões e dificuldades com a terapia. Já os resultados reportados por Gaggioli et al. [2004] incluem um protocolo de acompanhamento e ferramentas interativas baseadas em computador que foram utilizadas para estimular a imaginação motora em pacientes com AVC hemiplégico. O protocolo desenvolvido nesse trabalho foi dividido em duas fases, uma hospitalar e outra domiciliar. Para a fase hospitalar, foi montada uma estrutura que, além de auxiliar na imaginação motora, poderia rastrear o membro saudável do paciente e recriá-lo em um ambiente de realidade virtual de forma espelhada. Na

fase domiciliar foi fornecido ao paciente um dispositivo móvel com instruções e sugestões visuais e auditivas, com o objetivo de auxiliar no processo de imaginação do movimento. O dispositivo armazenava também dados sobre o tempo de cada exercício e informações sobre a data e a hora de cada sessão. Esses dados eram transferidos do dispositivo do paciente para o do terapeuta quando de uma sessão presencial.

Nos trabalhos citados podemos observar o uso diferentes abordagens para acompanhamento de pacientes em reabilitação neuromotora, bem como a utilização de diversos métodos para captura e obtenção dos dados da terapia, como gravação de vídeos, sensores ou a inserção manual de resultados. Os trabalhos também se diferenciam na maneira como os dados são disponibilizados. Por exemplo, nos trabalhos de Boutrup et al. [2013]; Ferraris et al. [2014]; Ruiz-Zafra et al. [2013]; Trojan et al. [2014] e Golomb et al. [2009], os dados podem ser acessados pela Internet a qualquer momento, o que não ocorre nos trabalhos de Darnall [2009] e Gaggioli et al. [2004]. Os dispositivos utilizados também variam, podendo ser computadores de mesa, dispositivos móveis ou diários convencionais em papel. Em alguns dos trabalhos, os pesquisadores utilizaram principalmente métodos tradicionais da fisioterapia, enquanto em outros utilizaram estratégias de resposta visual como terapia do espelho, imagem motora ou realidade aumentada. Na Tabela 4.1 resumizamos esses aspectos considerando os estudos apresentados.

Estudo	Captura	Acesso	Dispositivos	Método
[Ferraris et al., 2014]	Sensores	<i>Online</i>	PC e Nuvem	Fisioterapia convencional
[Ruiz-Zafra et al., 2013]	Vídeos e Sensores	<i>Online</i>	Móveis e Nuvem	Fisioterapia convencional
[Boutrup et al., 2013]	Vídeos e Manualmente	<i>Online</i>	<i>Mock-up</i>	Fisioterapia convencional
[Trojan et al., 2014]	Vídeos e Sensores	<i>Online</i>	PC e Outro	Realidade aumentada
[Golomb et al., 2009]	Sensores	<i>Online</i>	Vídeo Game e PC	Realidade Virtual
[Darnall, 2009]	Manualmente	<i>Offline</i>	Diário	Terapia do espelho
[Gaggioli et al., 2004]	Manualmente	<i>Offline</i>	Móvel e PC	Imagem motora

Tabela 3.1: *Comparativo dos trabalhos relacionados considerando abordagem para captura dos dados e para disponibilização dos dados, dispositivos utilizados e adoção de método tradicional de fisioterapia ou outro.*

3.3 Considerações finais

O levantamento reportado neste capítulo permitiu identificar os recursos utilizados em sistemas de monitoramento remoto para pacientes em reabilitação neuromotora. Verificamos também algumas das principais limitações desses trabalhos e, assim, identificar requisitos para nosso trabalho. Além disso, o estudo permitiu identificar abordagens direcionadas para práticas mentais de reabilitação, como terapia do espelho, realidade virtual e imaginação motora.

Modelo de acompanhamento remoto para a terapia do espelho (MTEIR)

Neste capítulo serão apresentadas as soluções desenvolvidas para o apoio a reabilitação neuromotora. Na Seção 4.1 foi descrito o modelo para terapia do espelho interativa remota (*MTEIR*) e realizamos uma comparação com programas domésticos para a terapia do espelho encontrados na literatura. Na Seção 4.2 descrevemos o projeto do sistema e suas etapas de desenvolvimento: o modelo de processo de *software*, o levantamento de requisitos, a arquitetura do sistema, a implementação, o banco de dados e a segurança. Por último, apresentamos as Seções 4.3 e 4.4 com as funcionalidades do sistema e as soluções dos aplicativos *Tei* e *TeiT* respectivamente.

4.1 MTEIR - Modelo para terapia do espelho interativa remota

No Capítulo 3 foi discutido trabalhos reportados na literatura que propõem soluções de acompanhamento remoto de pacientes em tratamento. Esses trabalhos utilizaram diferentes tipos de metodologias e de tecnologias em seu desenvolvimento como, por exemplo, diários, sensores ou gravação de áudio e vídeos. Entretanto, na literatura existe uma escassez de trabalhos que especificam aplicações detalhadas da terapia do espelho estabelecendo parâmetros como, por exemplo, indicação, dosagem, frequência ou configuração da terapia [Grünert-Plüss et al., 2008]. Como resultado, a proposta de um modelo de acompanhamento remoto para a terapia do espelho demanda atenção a particularidades da terapia que precisam ser consideradas quando da aplicação do modelo. Dentre as principais particularidades podemos destacar:

- *O paciente precisa manter sua atenção completamente na ilusão causada pelo espelho, uma vez que qualquer preocupação adicional pode tornar a terapia ineficaz.*
- *Durante a sessão, o paciente não deve poder visualizar o membro afetado.*
- *Durante a terapia, o paciente não deve utilizar acessórios que identifiquem um dos seus membros.*
- *Os terapeutas precisam personalizar a terapia espelho de acordo com o diagnóstico e as características de cada paciente.*
- *Os terapeutas precisam estabelecer um programa de treinamento doméstico para a terapia do espelho.*
- *Os efeitos do programa de treinamento doméstico, bem como os relatos de dor e de intensidade da dor, deverão ser discutidos na próxima sessão presencial do paciente.*

Apesar de não existir um protocolo padrão ou um consenso sobre qual o melhor método de aplicação da terapia do espelho, alguns pesquisadores desenvolveram seus próprios protocolos e obtiveram resultados importantes com seus trabalhos. São exemplos os trabalhos de Grünert-Plüss et al. [2008], de McCabe et al. [2003] e de Moseley [2004].

Para a elaboração do nosso modelo de acompanhamento remoto, utilizamos como base o programa doméstico para a terapia do espelho desenvolvido por Grünert-Plüss et al. [2008] em sua pesquisa. Nesse programa cada paciente recebe um espelho e um suporte de madeira na forma de um empréstimo. Em seguida, os pacientes são orientados a documentar suas sessões em um diário (por quanto tempo os exercícios foram realizados, quais tipos de movimentos foram realizados, ocorrência de problemas ou de dúvidas). As dúvidas e os problemas são discutidos em sessões presenciais e a duração das etapas devem ser correspondente à resposta ao tratamento de cada paciente. As sessões devem ter de cinco a dez minutos sendo realizadas de cinco a seis vezes ao dia, mantendo sempre um intervalo de tempo mínimo entre as sessões.

Levando em consideração, por um lado, as características da terapia do espelho e os programas domésticos de terapia reportados na literatura e, por outro lado, a flexibilidade permitida pela ferramenta MoViA, identificamos a oportunidade de realizar a captura e o compartilhamento de vídeo de sessões de terapia como um dos elementos originais de um modelo de acompanhamento remoto. Esta abordagem visa interferir minimamente na terapia original. Nesse caso, para realizar uma sessão, o paciente precisa posicionar a câmera de seu dispositivo móvel de modo apropriado antes de iniciar uma sessão – iniciada a sessão não ha outras interações com o sistema. O dispositivo precisa ficar posicionado em frente ao paciente, do outro lado do espelho, fixado em um suporte dispo-

nibilizado pelo terapeuta e com a câmera traseira direcionada para as mãos e os braços do paciente: esse posicionamento é da maior importância pois impede que o paciente veja o vídeo que está sendo gravado enquanto a sessão é realizada. Além disso, é importante observar que tanto durante a sessão como depois dela, o paciente não deve poder visualizar o membro afetado sem autorização do terapeuta. A Figura 4.1 ilustra como deve ser o posicionamento do dispositivo em relação ao espelho e ao paciente. É importante lembrar que esta versão do sistema foi desenvolvida com o foco no tratamento de pacientes com deficiências nos membros superiores e, portanto, os vídeos tutoriais e os exercícios disponíveis estão relacionados a esse tratamento.

Figura 4.1: Posicionamento do dispositivo móvel de captura de vídeo em relação ao espelho e ao paciente.

No modelo proposto, as informações de configuração de uma sessão são incluídas pelos terapeutas presencialmente ou remotamente. Desse modo, o terapeuta pode escolher quantas sessões o paciente deverá realizar, quais os exercícios deve ser realizados ou o tempo máximo de cada sessão. Caso o paciente tenha algum problema em sua sessão ou, ou tenha alguma dúvida sobre o tratamento, ele poderá mandar um mensagem para seu terapeuta imediatamente. As sessões devem ter no máximo quinze minutos e o número de sessões fica a critério do terapeuta. Por exemplo, o terapeuta pode prescrever um número fixo de sessões por dia e cadastrar quais dessas sessões deverão ser realizadas por meio do sistema de apoio que desenvolvemos.

O modelo também inclui exercícios de discriminação de lateralidade e um guia de exercícios inserido com o intuito de auxiliar os pacientes em suas sessões domiciliares. Além disso, o modelo define que o histórico de sessões permita que pacientes e terapeutas possam rever sessões anteriores.

Além de Grünert-Plüss et al. [2008], outros autores como, por exemplo, Darnall [2009] e Moseley [2006] discutem a importância da realização da terapia do espelho em casa para o processo de reabilitação – e propõem programas domésticos para a terapia. A Tabela 4.1 apresenta uma comparação entre o *MTEIR* e os programas domésticos propostos por [Grünert-Plüss et al., 2008], [Darnall, 2009] e [Moseley, 2006].

	[Grünert-Plüss et al., 2008]	[Darnall, 2009]	[Moseley, 2006]	<i>MTEIR</i>
Configuração dos exercícios presencialmente	X	X	X	X
Configuração dos exercícios remotamente				X
Diário do paciente	X	X	X	
Sistema baseado em computador			X	X
Resolução de dúvidas e problemas remotamente				X
Discriminação de lateralidade			X	X
Imagem motora			X	
Troca de mensagens instantâneas				X
Guia de exercícios				X
Histórico em vídeo de sessões anteriores				X
Tempo de sessão em minutos	5 a 10	25	não def.	5 a 15

Tabela 4.1: Comparativo dos modelos de acompanhamento e o *MTEIR*

Para impedir que o paciente veja o membro afetado nos vídeos gravados sem a permissão do terapeuta, o sistema foi implementado de maneira que toda sessão gravada é enviada diretamente para o servidor, não permanecendo nenhuma cópia no dispositivo do paciente.

Com o intuito de permitir que o terapeuta obtivesse informações suficientes e fosse capaz de guiar a terapia à distância, o sistema inclui um conjunto de recursos para auxiliar no acompanhamento como, por exemplo, a troca de mensagens, a biblioteca de vídeos de sessões anteriores e o teste de lateralidade. Utilizamos a ferramenta MoViA, apresentada na Seção 2.4, para fornecer aos terapeutas a possibilidade de anotar com tinta eletrônica e inserir comentários em texto nos vídeos de seus paciente, podendo dar instruções para realizar melhorias nas próximas sessões.

Além disso, ao enviar para o paciente uma sessão comentada, o terapeuta pode, se desejar, optar por não mostrar ao paciente o membro afetado: isso

permite ao terapeuta, por exemplo, focar suas instruções apenas no membro sadio.

Nos diagramas a seguir estão organizados hierarquicamente os elementos, em forma de tarefas, que compõem o MTEIR. Os diagramas foram divididos em tarefas que pacientes podem realizar (Figura 4.2) e em tarefas que os terapeutas podem realizar (Figura 4.3).

Figura 4.2: Diagrama hierárquico de tarefas - Tarefas definidas para o MTEIR - Versão para pacientes

Figura 4.3: Diagrama hierárquico de tarefas - Tarefas definidas para o MTEIR - Versão para terapeutas

A intenção na construção do modelo é definir requisitos mínimos para o acompanhamento remoto de pacientes em tratamento pela terapia do espelho utilizando dispositivos moveis, podendo assim, ser instanciado por diferentes soluções computacionais. Na sequência do trabalho são apresentados os aplicativos Tei e TeiT, que são um exemplo de instanciação do MTEIR. Na Figura 4.4, por exemplo, os elementos 0.3.1, 0.3.2 e 0.3.3 mostra como o aplicativo Tei configura e realiza a captura da sessão.

Na tarefa 'Configurar o dispositivo' (Figura 4.4) o paciente precisa escolher a sessão de terapia que ele deseja executar, em 'Posicionar o dispositivo' o paciente posiciona o dispositivo de modo que apareça no vídeo o membro sadio, o

Figura 4.4: Diagrama hierárquico de tarefas - Aplicativo Tei como instância do MTEIR

membro afetado e o rosto do paciente. É essencial que o rosto do paciente apareça na filmagem para que o terapeuta possa conferir se a atenção do paciente está realmente no reflexo do exercício. Na tarefa 'Iniciar a captura em vídeo' o paciente pode escolher o momento ideal para a iniciar sua sessão.

Figura 4.5: Diagrama hierárquico de tarefas - Aplicativo TeiT como instância do MTEIR

A Figura 4.5 mostra um exemplo de como implementar a tarefa de 'Avaliar vídeo de um paciente'. As tarefas 0.3.3, 0.3.4 e 0.3.5 estão relacionadas aos recursos presente na MoViA e que foram adaptados no aplicativo TeiT. O terapeuta pode utilizar estes recursos em qualquer ordem e quantas vezes desejar durante o tempo de execução do vídeo. Nas tarefas 0.3.1 e 0.3.2 os terapeutas escolhem

o paciente e a sessão que irão avaliar. Após avaliar, o terapeuta libera o vídeo para que o paciente possa assistir sua sessão comentada.

4.2 Prototipação evolutiva

Nesta seção do trabalho explicamos, com diferentes níveis de abstração, como foi o desenvolvimento do sistema. A seguir discorreremos sobre as etapas do projeto e sobre as justificativas para as escolhas dos processos, modelos e tecnologias envolvidas.

4.2.1 Modelo de processo

Segundo Pressman [2010], “modelos de processo definem um conjunto de atividades, ações e tarefas para a criação de algum produto de trabalho¹”. Os modelos de processo são necessários para realização de uma engenharia de software de alta qualidade, diminuindo o tempo e o custo, além de criar um produto que satisfaça as necessidades do cliente.

Figura 4.6: O Paradigma da Prototipagem - Fonte: [Pressman, 2010] - pag.43

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizamos o modelo de processo evolucionário conhecido como prototipagem. Este paradigma ajuda os envolvidos a entender melhor o que está sendo construído quando os requisitos são ainda pouco conhecidos [Pressman, 2010]. O paradigma da prototipação (Figura 4.6) começa com a comunicação: os profissionais responsáveis pelo desenvolvimento

¹Na engenharia de software, produtos de trabalho são os programas, documentos e dados que são produzidos como consequência das atividades e tarefas definidas pelo processo [Pressman, 2010].

se reúnem com os interessados pela solução para estabelecer os principais objetivos do sistema, além disso, todos os requisitos conhecidos até o momento são levantados.

A próxima etapa deste modelo de processo é a construção de um plano de ação rápido seguido da modelagem dos requisitos já levantados. Em seguida, um protótipo simples é desenvolvido baseado nos resultados da etapa anterior. Este protótipo é avaliado pelos usuários finais, refinando os requisitos obtidos e gerando novos. Este processo é iterativo sendo repetido até que o software obtenha o mínimo de requisitos para uma primeira versão [Pressman, 2010].

4.2.2 Levantamentos de requisitos

No levantamento de requisitos, os profissionais responsáveis pelo desenvolvimento e os usuários finais trabalham em parceria para entender os problemas, levantar possibilidades, imaginar *designs* e desenvolver um conjunto inicial de ideias para solucionar os problemas de usabilidade [Zahniser, 1990]. Os requisitos de software devem refletir a visão do usuário sobre o que sistema deve fazer [Saleh, 2009].

Para o levantamento de requisitos deste trabalho, realizamos reuniões periódicas com terapeutas ocupacionais da Faculdade de Medicina da USP/Ribeirão Preto. Os requisitos identificados podem ser divididos em funcionais e não funcionais: os requisitos funcionais descrevem basicamente as funcionalidades do sistema, enquanto que os requisitos não funcionais estão relacionados a requisitos de qualidade do software.

Um dos primeiros requisitos identificados foi a necessidade da criação de uma tela inicial de login para os aplicativos *Tei* e *TeiT*, o usuário deveria inserir o nome de usuário e senha para ter acesso ao sistema. Essa autenticação é necessária mesmo que o dispositivo seja do próprio usuário e ele já esteja autenticado em sua conta no sistema Android: essa demanda dos terapeutas está vinculada ao fato de o sistema ser de uso em um tratamento de terapia e envolver captura de vídeo. Na etapa de autenticação, caso o usuário ou senha estejam errados, o sistema deveria apresentar uma mensagem de erro. O sistema também deveria reportar uma mensagem de erro se o aplicativo não conseguisse conectar no servidor.

Da parte do terapeuta, o primeiro passo no processo de execução e de avaliação de uma nova sessão de terapia é a prescrição dos exercícios para o paciente. Para a construção desse recurso, verificamos que o sistema deveria permitir ao terapeuta especificar, por meio do aplicativo *TeiT*, os exercícios a serem realizados, a frequência de cada exercício, a data e a hora e o tempo total da sessão.

Da parte do paciente, a etapa seguinte seria a realização de uma sessão. Para

isso, foi definido que o sistema *Tei* deveria permitir ao paciente acessar uma lista com as sessões disponíveis e remarcar uma sessão se necessário. Escolhida uma sessão, o sistema deveria dar acesso à tela de gravação. A tela de gravação, por sua vez, deveria conter os botões para iniciar, parar e concluir a sessão. Além disso, essa tela deveria oferecer uma orientação visual para posicionamento do dispositivo permitindo capturar dos dois membros e a rosto do paciente. Além disso, a gravação de uma sessão deveria ser realizada pela câmera traseira do dispositivo, e tanto o membro saudável e o deficiente deveriam ser gravados em vídeo mas, durante a gravação, o membro deficiente não deveria ser apresentado ao usuário.

Após a sessão ser realizada e o vídeo enviado, o terapeuta poderia acessar e avaliar estas sessões pelo aplicativo *TeiT*. Para esse propósito, o sistema deveria oferecer uma lista contendo os vídeos enviados pelos seus pacientes, permitindo que o terapeuta faça o *download* destes vídeos. Os recursos de anotação em vídeo originais da ferramenta MoViA precisariam ser disponibilizados pelo aplicativo *TeiT* para a etapa de avaliação. Ao final da avaliação, o sistema deveria permitir que o terapeuta escolha ocultar ou não do vídeo o membro deficiente (requisito levantado somente na fase de teste). O último passo do processo de execução e avaliação de uma nova sessão é o acesso, pelo paciente, do vídeo avaliado. Neste sentido, o aplicativo *Tei* deveria permitir que o paciente visualize uma lista com seus vídeos recebidos e escolha qual vídeo deseja assistir.

Outros requisitos identificados são referentes ao desenvolvimento do teste de lateralidade e do guia de exercícios do aplicativo *Tei*. No teste de lateralidade, por exemplo, uma sequência de imagens de mãos deveria ser apresentada para o usuário, essa sequência deveria ser aleatória, não repetindo as imagens de um acesso para o outro. O aplicativo deveria então disponibilizar para o usuário a opção de decidir se aquela imagem é de uma mão direita ou uma mão esquerda. Ao finalizar o teste o aplicativo deveria apresentar o resultado final com o número de acertos.

Para o guia de exercícios, o *Tei* deveria mostrar um menu com todos os vídeos de exemplo de exercícios, sendo que, a tela de visualização do vídeo deveria conter botões para iniciar, pausar, sair, além de uma barra mostrando o tempo percorrido e o tempo restante do vídeo. Os aplicativos *Tei* e *TeiT* deveriam permitir ainda, que os terapeutas e pacientes troquem mensagens, este módulo deveria ser similar a uma caixa de *e-mail* tradicional, contendo uma caixa de entrada, mensagens enviadas e a possibilidade de escrever e enviar novas mensagens.

Sobre os requisitos não funcionais verificamos que o sistema deveria se adaptar a diversos tipos de aparelhos com diversos tamanhos de tela, demorar no máximo três segundos na transição entre uma tela e outra ou após acionar de

um botão. Caso os aplicativos ultrapassem este tempo, deveriam apresentar ao usuário mensagens contendo o *status* atual do sistema. O sistema deveria funcionar em qualquer dispositivo com sistema operacional Android com versão igual ou superior a versão 4.2, além disso, precisaria estar disponível online.

4.2.3 Modelagem e arquitetura do sistema

A solução computacional desenvolvida é composta por três elementos principais: o aplicativo *Tei* (*Terapia do Espelho Interativa*), o aplicativo *TeiT* (*Terapia do Espelho Interativa para Terapeutas*) e um servidor para armazenamento e distribuição. O *Tei* é um aplicativo voltado para pacientes que, entre outros recursos, permite que o paciente grave suas sessões de terapia do espelho e as envie para o seu terapeuta. O aplicativo *TeiT* é a versão do *Tei* para terapeutas. Nesse aplicativo, terapeutas podem acompanhar as sessões de seus pacientes, avaliá-las e retornar informações relevantes para seus pacientes. Os dados gerados por estes dois aplicativos são armazenados e organizados em um servidor remoto, essas informações são disponibilizadas aos pacientes e terapeutas durante seus acessos.

Figura 4.7: Diagrama de caso de uso dos aplicativos *Tei* e *TeiT*

Após a etapa de levantamento e especificação de requisitos, estabelecemos o papel que cada usuário deveria ter no sistema, além dos casos de uso. Os casos de uso são funcionalidades do sistema realizadas por um ator ou mais. No contexto de nosso sistema os atores são os pacientes ou os terapeutas. Os casos de uso são: realizar sessão, adiar sessão, assistir vídeo tutorial, realizar teste de lateralidade, cadastrar pacientes, editar cadastro, inserir sessão, avaliar sessão, assistir sessão comentada, enviar mensagens, ler mensagem recebida e alterar senha de acesso. Os casos de uso e os atores estão especificados no diagrama apresentado na Figura 4.7.

As setas na Figura 4.7 correspondem a uma ação que aquele ator pode realizar. Assim, o paciente pode realizar e adiar uma sessão, assistir um vídeo tutorial, realizar um teste de lateralidade, assistir sessões comentadas, enviar mensagens ao terapeuta, ler mensagens recebidas e alterar sua senha de acesso. Já o terapeuta pode cadastrar pacientes e editar um cadastro, inserir uma nova sessão e avaliar (e comentar) uma sessão realizada pelo paciente, enviar mensagem ao paciente e ler mensagens recebidas, e alterar senha de acesso. Uma ação pode ser realizada por mais de um ator como, por exemplo, enviar uma mensagem, que pode ser realizada tanto pelo terapeuta quanto pelo paciente.

Figura 4.8: Fluxo de informações entre as partes do sistema

As funcionalidades do sistema descritas anteriormente geram informações que precisam trafegar entre as partes do sistema. A Figura 4.8 mostra como as informações referentes às sessões transitam entre estas partes. A comunicação começa com a seta numero 1 da figura, quando o terapeuta envia uma requisi-

ção, através do *TeiT*, para o servidor adicionar no banco de dados as informações de uma nova sessão.

O paciente, quando for realizar sua sessão, acessa pelo aplicativo *Tei* o banco de dados do servidor, recebendo assim as instruções de sua sessão. Após verificar estas instruções, o paciente grava os exercícios prescritos pelo terapeuta em vídeo. Ao terminar a sessão, o *Tei* se conecta ao diretório de armazenamento de vídeos no servidor e realiza o *upload* do arquivo.

A próxima interação acontece quando o terapeuta utiliza o *TeiT* para requisitar ao servidor o *download* do vídeo, essa ação correspondente a seta 4 na figura. Após receber o vídeo requerido, o terapeuta utiliza as ferramentas disponíveis no aplicativo *TeiT* para avalia-lo. Após terminar a avaliação, as anotações são enviadas para o diretório de anotações no servidor. Por fim, o paciente pode requisitar do servidor o *download* de sua sessão e dos comentários enviados pelo terapeuta.

Durante todas as etapas representadas pelas setas na figura os aplicativos realizam requisições de leitura e escrita ao banco de dados do sistema. Já as cores das setas representam cada acesso aos aplicativos, por exemplo, a etapa 2 e 3 representadas pela cor verde são normalmente realizadas no mesmo acesso do paciente ao aplicativo *Tei*. Por outro lado, as etapas 1 e 4 são feitas em acessos distintos do terapeuta ao aplicativo *TeiT*, por isso uma é representada com a cor vermelha e a outra com a cor azul.

4.2.4 Implementação

A implementação é um processo de mapeamento do *design* em código, transformando o resultado das etapas anteriores em algo executável e utilizável pelo usuário [Saleh, 2009]. Para a implementação dos aplicativos *Tei* e *TeiT*, foi utilizado o kit de desenvolvimento Android SDK, a plataforma de desenvolvimento Eclipse, a linguagem de programação Java e a linguagem de marcação XML. No lado servidor, foi construído uma árvore de diretórios acessíveis por meio do protocolo FTP: nesses diretórios são armazenados os vídeos e os arquivos com as anotações.

Na Figura 4.9 apresentamos um esquema básico de como o sistema foi implementado. Nesta figura, o componente “interfaces de usuário” são elementos do sistema responsáveis por apresentar opções de interação entre os usuários e o sistema. Faz parte deste componente as telas, compostas pelos designs das telas em XML, e as *Activities*² do aplicativo. O componente “Câmera” corresponde a um conjunto de classes Java para o acesso e controle das câmeras do

²Activity é um componente Android que fornece métodos para gerenciamento das telas do aplicativo. [Developer, 2015]

dispositivo, esse componente possibilita que o sistema grave vídeos ou tire fotografias. A API de computação gráfica *OpenGL* foi integrada a esse componente possibilitando a inserção de marcações de elementos gráficos na tela do vídeo.

Figura 4.9: Modelo de implementação

Com o intuito de auxiliar os componentes do sistema e organizar os dados recebidos pelo servidor, além dos dados gerados pelas interfaces de usuário, câmeras e a MoViA, foi criado um conjunto de classes que denominamos na figura 4.9 como “Processamento”. Podemos ver ainda, na Figura 4.9, que a MoViA interage diretamente com as interfaces do usuário e com as classes de processamento do aplicativo *TeiT*, lembrando que a MoViA possui suas próprias interfaces com o usuário.

O componente “Rede” foi desenvolvido para realizar a conexão e as requisições ao servidor remoto, sendo dividido entre interação com banco de dados e com diretório remoto. A API *Apache Commons Net* foi utilizada no componente “Rede” para a implementação do lado cliente do protocolo FTP, permitindo que o usuário acesse o diretório de armazenamento remoto por meio dos aplicativos *Tei* e *TeiT*. Com relação ao acesso ao banco de dados, utilizamos o JDBC para MySQL, possibilitando a comunicação com o banco por meio de comandos SQL. Por fim, o módulo “Segurança” foi desenvolvido para fornecer segurança na troca de informação entre os aplicativos e o servidor, para isto, foi utilizado um conjunto de classes que implementam o protocolo SSL.

4.2.5 Banco de dados

No sistema proposto, o banco de dados é responsável por armazenar os dados de maneira eficiente, além de promover uma rápida recuperação das informações

geradas pelos usuários. Exemplos dessas informações são: dados cadastrais dos pacientes, dados referentes as sessões, informações sobre os vídeos ou as mensagens trocadas. Para a construção do banco de dados, utilizamos o MySQL como sistema de gerenciamento de banco de dados e o MySQL Workbench para a modelagem do banco.

4.2.6 Segurança

Realizar a análise de segurança de sistemas móveis é uma tarefa muito complexa, existem sempre muitas variáveis para se considerar [Landman, 2010]. Para o sistema proposto, nos preocupamos principalmente com os aspectos de controle de acesso e com a segurança das comunicações. Para fornecer segurança no acesso, um novo usuário precisa estar cadastrado no banco de dados para utilizar os recursos do sistema. Sendo assim, na tela inicial dos aplicativos os usuários necessitam inserir seu usuário e senha, restringindo o acesso somente a pessoas autorizadas.

Utilizamos o protocolo SSL para fornecer segurança nas comunicações e nas trocas de informações entre os aplicativos e o servidor pela Internet. O SSL é um protocolo criptográfico que foi desenvolvido para proteger as comunicações de rede contra espionagem e violação [Fahl et al., 2012]. Esse protocolo foi utilizado para fornecer um canal seguro para a troca de arquivos e para aumentar a segurança nas requisições remotas do banco de dados.

4.3 A solução *Tei*

Com o objetivo de implementar os recursos e conceitos idealizados no *MTEIR*, desenvolvemos duas versões, paciente e terapeuta, de um aplicativo móvel voltado para a reabilitação neuromotora. Os aplicativos foram idealizados com o intuito de acompanhar pacientes que estejam realizando a reabilitação de membros superiores por meio da técnica do espelho. Ele permite que os terapeutas conduzam remotamente o tratamento guiando e acumulando informações importantes. A seguir, serão apresentadas as principais funcionalidades, módulos e interfaces da solução *Tei*.

4.3.1 Login e menu principal

A primeira tela do aplicativo *Tei* é a tela de Login (Figura 4.10a). Nesta tela os usuários previamente cadastrados no sistema precisam inserir seu usuário e senha para completar o acesso. Caso o servidor não esteja disponível ou o usuário ou senha estejam inválidos, o sistema retorna uma mensagem de erro e o acesso não será permitido.

Se o usuário e a senha estiverem corretos, o sistema realizará o *log in* e apresentará a tela do menu principal (Figura 4.10b). Nessa tela, o usuário pode

Figura 4.10: Telas do Tei - Login e Menu

navegar pelos módulos e escolher qual deseja acessar. Se clicar em “Alterar Senha”, o paciente pode alterar sua senha de acesso ao sistema. Clicando em “Mensagens”, ele pode trocar mensagens de texto livre com o terapeuta. Em “Outros Recursos” está disponível o guia com vídeos de exemplos de exercícios e o teste de lateralidade. Em “Meus Vídeos”, o usuário pode visualizar os vídeos recebidos de seu terapeuta, assim como as anotações e comentários sobre as sessões realizadas.

4.3.2 Realizar sessão

Se o paciente escolher realizar uma sessão, basta clicar no botão “Realizar Sessão” no menu principal que será apresentada, então, uma lista com as sessões disponíveis para aquele paciente (Figura 4.11). Se o paciente precisar, pode remarcar a sessão para outro dia ou horário clicando no botão “Atrasar”. Caso o usuário decida realizar a sessão, o aplicativo abrirá uma tela para posicionamento do dispositivo, além de uma mensagem com informações sobre a sessão. Nesta tela serão apresentadas as três sessões que estão mais próximas do tempo atual. Na Figura 4.11 podemos ver que cada sessão é representada pelos exercícios programados, a frequência de cada exercícios, a data e a hora.

Figura 4.11: Telas do Tei - Realizar Sessão

4.3.3 Posicionando o dispositivo

Nessa etapa a distância e a altura do dispositivo em relação ao espelho também precisam ser verificadas. Para isso, em conjunto com a equipe da terapia ocupacional, idealizamos um suporte para os dispositivos para que as filmagens fossem feitas de forma padronizada, aumentando a qualidade e facilitando a comparação entre as sessões.

(a) Dispositivo sendo posicionado com auxílio de cuidador.

(b) Dispositivo sendo posicionado pelo próprio paciente.

Figura 4.12: Telas do Tei - Posicionando o dispositivo: o espelho deve estar alinhado com a marcação (linha vertical (verde)). O botão de “Iniciar” e o de Concluir estão disponíveis para dar início à gravação ou para encerrar esta etapa.

O usuário precisa posicionar o dispositivo colocando o espelho alinhado com a marcação, correspondente a uma linha vertical verde na tela, como visto na Figura 4.12. Ao clicar em iniciar, a tela se apagará e será iniciada a gravação. A sistema gravará a sessão enquanto o tempo estipulado pelo terapeuta não seja alcançado ou até que o paciente conclua manualmente a sessão. Um cronômetro na parte inferior da tela apresenta o tempo corrente da sessão. Se desejar, o paciente pode cancelar a sessão evitando que o vídeo seja enviado para o terapeuta.

4.3.4 Sessões avaliadas

Após o usuário concluir a sessão, o vídeo é automaticamente enviado para o servidor, ficando disponível para o terapeuta avaliar posteriormente. O paciente consegue visualizar suas sessões avaliadas clicando no botão “Meus Vídeos” do menu principal. Caso o terapeuta decida ocultar o membro afetado, um retângulo cinza com uma faixa amarela encobrirá o lado correspondente.

Figura 4.13: Telas do Tei - Sessão avaliada

A Figura 4.13 ilustra um exemplo hipotético de sessão comentada na qual o terapeuta adicionou anotações com tinta eletrônica e áudio, e permitiu que o paciente tivesse acesso apenas à porção do vídeo que apresentava o membro sadio. No lado esquerdo do vídeo está o membro sadio e as anotações em tinta; logo

abaixo, está o comentário inserido pelo terapeuta para aquela cena e, ao lado direito do vídeo, estaria o membro afetado que foi ocultado pelo aplicativo. As resoluções dos vídeos podem variar dependendo do dispositivo utilizado, sendo que o *Tei* foi configurado para realizar gravações em baixas resoluções, evitando que os arquivos de vídeo fiquem grandes demais dificultando a transmissão para o servidor.

4.3.5 Teste de lateralidade

Na Seção 2.2.1 discutimos a importância da discriminação de lateralidade, entre direita e esquerda, para a reabilitação neuromotora e controle da dor fantasma. Levando isso em consideração, incluímos no aplicativo um módulo para o teste de lateralidade. Armazenamos um conjunto de sessenta imagens de mãos esquerda ou direita em posições variadas, sendo que, a cada acesso ao módulo, é disponibilizado para o usuário um conjunto de doze imagens aleatoriamente. O usuário então precisa decidir se aquela imagem é uma mão direita ou uma mão esquerda, como podemos ver na Figura 4.14a. Ao finalizar o teste, o aplicativo mostra uma mensagem revelando quantas imagens o usuário acertou (Figura 4.14b).

(a) Teste de lateralidade

(b) Resultado do teste

Figura 4.14: Telas do Tei - Lateralidade

4.3.6 Outros recursos

Os outros módulos que podemos destacar são os módulos de “Mensagens” e o “Guia de Exercícios”. O módulo de mensagens foi desenvolvido para o paciente e o terapeuta trocarem mensagens gerais sobre a terapia, ou seja, se o paciente está, por exemplo, com alguma dúvida sobre o tratamento, ele pode entrar em “Mensagens” no menu principal e escrever uma nova mensagem para seu terapeuta. Em outro exemplo, o terapeuta percebe que o paciente não está realizando as sessões que ele cadastrou no sistema, então manda uma mensagem perguntando o que está acontecendo. Neste módulo do *Tei*, o paciente pode trocar mensagens unicamente com seu terapeuta.

(a) *Outros recursos*

(b) *Guia de exercícios*

Figura 4.15: *Outros recursos e guia de exercícios*

O módulo de “Guia de Exercícios” contém vídeos tutoriais dos exercícios disponíveis no sistema. Para acessá-lo, o usuário precisa entrar em “Outros Recursos” no menu principal e, em seguida, clicar no botão “Guia”. Estes vídeos ajudam os pacientes a lembrar como realizar os exercícios aprendidos nas sessões presenciais. Na Figura 4.15 podemos ver o menu do guia de exercícios: caso o usuário clique em um dos ícones, poderá assistir o vídeo tutorial do exercício correspondente.

4.4 A solução TeiT

Da mesma forma que no *Tei*, a primeira tela do aplicativo *TeiT* é a tela de *log in*. Para ter acesso ao aplicativo, o usuário precisa estar cadastrado como terapeuta no banco de dados do sistema, caso o usuário não possua esta permissão ou caso ocorra algum problema o aplicativo não permitirá o acesso e uma mensagem de erro será apresentada. Caso contrário o acesso será permitido e o aplicativo entrará normalmente no menu principal (Figura 4.16a).

4.4.1 Menu iniciar e cadastro de pacientes

Figura 4.16: Telas do TeiT - Menu e Cadastro

No menu principal do *TeiT* podemos encontrar o botão “Pacientes”. Ao clicar nesse botão o terapeuta poderá acessar os dados cadastrais de seus pacientes ou cadastrar um novo paciente (Figura 4.16b). A tela de cadastro possui campos com informações gerais e clínicas dos pacientes. O campo “Lado da lesão”, da tela da cadastro, é fundamental para o aplicativo, isto porque o aplicativo vai ocultar no vídeo o lado correspondente ao cadastrado neste campo. Se o lado errado for cadastrado, o sistema poderá ser prejudicial para o tratamento, tornando a terapia do espelho ineficaz. Ao avançar na tela de cadastro, o terapeuta poderá cadastrar também um usuário e uma senha para seu paciente, assim ele poderá realizar o *log in* no aplicativo *Tei* com estas informações.

4.4.2 Inserir nova sessão

Caso o terapeuta deseje inserir uma nova sessão, poderá clicar no botão “Inserir Sessão”, neste módulo o terapeuta poderá escolher os exercícios, a frequência, a data e hora, e tempo da sessão que seus pacientes deverão realizar. Na Figura 4.17 podemos ver a tela desenvolvida para a inserção de novas sessões, os campos exercícios e repetições possuem informações pré-cadastradas para melhorar uniformidade das informações. Além disso, cada exercícios inserido será relacionado a uma imagem que corresponde àquele exercício, como podemos ver na tela de “Realizar Sessões” do aplicativo *Tei* (Figura 4.11). O intuito desse recurso visual é melhorar o entendimento do paciente sobre o exercício que ele precisará realizar, uma vez que as imagens inseridas nesta tela são as mesma encontradas no guia de exercícios.

Inserir Sessão

Paciente: João

Exercício: Extensão e Flexão de Pulso

Repetições: 3 vezes de 15 repetições

Exercício: Supinação e Pronação

Repetições: 2 vezes de 20 repetições

+ (ícone de adicionar)

Data: 16/04/2015

Hora: 14:00

*Tempo: 15

*Em minutos

Concluir

Figura 4.17: Telas do TeiT - Inserir Sessão

4.4.3 Avaliar sessão

Para avaliar ou reavaliar as sessões de seus pacientes, o terapeuta deverá entrar em “Avaliar Sessão”. Neste módulo o terapeuta terá a opção de avaliar as sessões recentes ou rever e reavaliar sessões antigas. Para isto, integramos ao aplicativo uma versão adaptada da MoViA, aplicativo para anotação em vídeo descrita na Seção 2.4 desta dissertação. Esta ferramenta disponibiliza recursos que permite que terapeuta ajude e instrua seus pacientes no tratamento remoto. Por exemplo, se o paciente estiver realizando um exercício de forma equivocada,

o terapeuta pode adicionar um áudio explicando o movimento correto, além de marcar na tela onde o movimento estava errado. O terapeuta pode também, por exemplo, fornecer *feedback* positivo quando perceber que a terapia está sendo bem feita, inserindo um comentário de apoio.

Na Figura 4.18b podemos ver a tela de avaliação. Nesta versão simplificada da ferramenta MoViA, é possível inserir anotações em texto, tinta e áudio, da mesma maneira que é possível na versão original. Porém, recursos como, por exemplo, compartilhamento em redes sociais ou a exploração de informações de contexto não estão disponíveis na versão adaptada. Ao clicar no botão concluir, da tela de avaliação, o aplicativo apresentará uma mensagem perguntando se o usuário deseja ocultar o membro afetado. Caso a resposta for positiva, o paciente será impedido de ver este membro quando for assistir esta sessão. Um exemplo do resultado da avaliação foi mostrado anteriormente na Figura 4.13.

(a) Escolher paciente - Antes de avaliar um vídeo o terapeuta precisa escolher de qual paciente deseja visualizar as sessões.

(b) Avaliar sessão - Recursos disponíveis: comentário em texto (*Comment the scene*), tinta eletrônica (*Ink annotations*) e comentário em áudio (*Audio annotation*)

Figura 4.18: Telas do TeiT - Avaliar Sessão

4.4.4 Mensagens

O *TeiT* também possui um módulo de mensagens, a diferença é que no *TeiT* o terapeuta pode trocar mensagens com vários usuários, ou seja, todos os seus pacientes. Na Figura 4.19a mostramos a tela principal do módulo de mensagens, na parte de cima da tela fica o menu, por meio dele é possível acessar a caixa de entrada, as mensagens enviadas, escrever uma nova mensagem (Figura 4.19b) ou trocar de paciente. Ao clicar no título da mensagem o aplicativo mostra a mensagem requerida, fornecendo ao terapeuta a opção de responder aquela mensagem.

(a) Menu de mensagens recebidas

(b) Enviar nova mensagem

Figura 4.19: Telas do *TeiT* - Mensagem

4.5 Considerações finais

Neste capítulo apresentamos o modelo MTEIR e as etapas do projeto e as soluções desenvolvidas para acompanhamento remoto de pacientes em tratamento neuromotor por meio da terapia do espelho. O próximo capítulo detalha as avaliações realizadas.

Avaliação da proposta de terapia remota e da usabilidade do sistema.

Neste capítulo são descritos e discutidos os resultados da avaliação de usabilidade efetuada, a qual fez uso do método *Think Aloud* e de entrevistas. A avaliação de usabilidade por meio do método *Think Aloud* foi realizada com duas terapeutas ocupacionais e um cientista da computação. Já as entrevistas foram realizadas com dois terapeutas ocupacionais.

Para identificar os avaliadores, vamos tratar os terapeutas como URTO1 e URTO2 e o cientista da computação como EUCC1, sendo URTO1 aluna de doutorado na área de reabilitação com experiência na prática da terapia do espelho; URTO2 docente na área de terapia ocupacional e fisioterapia com experiência em trabalhos multidisciplinares em engenharia e computação; e EUCC1 aluna de pós-graduação em computação com experiência em desenvolvimento de aplicativos móveis.

5.1 Avaliação de Usabilidade com o método *Think Aloud*

Para o avaliar a usabilidade dos protótipos foi utilizado o método *Think Aloud* o qual requer que os participantes, usuários representativos do público alvo, verbalizem o que estão fazendo e pensando ao realizar uma tarefa, revelando aspectos da interface que agradam, confundam ou frustram o usuário [Lewis and Rieman, 1994; Martin and Hanington, 2012]. O uso de *Think Aloud* é amplamente utilizado em avaliações qualitativas de dispositivos móveis [Nielsen and Budiu, 2013], e considerado por Nielsen [2012] a principal ferramenta para o design de sistemas que almejam uma boa experiência do usuário – ou o princi-

pal método da área de engenharia de usabilidade [Nielsen, 1994]. É importante observar que a aplicação do método deve ser aplicado de modo planejado para garantir sua validade e efetividade Ericsson and Simon [1980]; Gill and Nonnecke [2012].

O método *Think Aloud* foi utilizado com dois usuários representativos da classe de terapeutas ocupacionais (URTO1 e URTO2). Em trabalhos futuros serão realizados testes com usuários representativos da classe de pacientes. Como uma alternativa à aplicação do método de percurso cognitivo, o qual é realizado por um especialista em usabilidade que analisa o nível de dificuldade encontrado por um usuário enquanto aprende a utilizar o sistema, solicitamos ao avaliador EUCC1 que realizasse uma avaliação do sistema ao seguir o mesmo método *Think Aloud* utilizado pelos terapeutas ocupacionais – essa alternativa foi considerada pois o EUCC1 não tinha nenhuma experiência com a terapia do espelho ou técnicas similares.

Assim, o protocolo do método *Think Aloud* foi seguindo com dois terapeutas ocupacionais e um cientista da computação, sendo que cada teste teve duração aproximada de trinta minutos. Ainda com relação às aplicações do protocolo, elas foram realizadas em dias e locais diferentes de modo que os participantes não tiveram acesso às sessões uns dos outros. Antes de iniciar, foram definidas algumas tarefas que os participantes deveriam realizar. Essas tarefas foram descritas uma a uma aos participantes de maneira que, quando o participante finalizava uma tarefa, logo era orientado a realizar a próxima. Para cada aplicativo, *Tei* e *TeiT*, foram elaboradas quatro tarefas as quais estavam relacionadas às suas respectivas funcionalidades.

5.1.1 Avaliação de usabilidade do aplicativo *Tei*

A seguir serão descritas as tarefas e os principais problemas encontrados pelos participantes durante a realização de cada uma dessas tarefas para o aplicativo *Tei*. Cada tarefa será representada pela letra “T” seguida do número correspondente à sua ordem de realização.

- **T1 - Fazer o login no sistema, realizar o teste de lateralidade e visitar o guia de exercícios.** Logo no início desta tarefa, o avaliador URTO1 teve dificuldades em acessar o campo “senha” na tela de login, isto devido ao teclado virtual sobrepor este campo na tela. Já o avaliador EUCC1, depois de demorar alguns segundos para encontrar o “guia de exercícios”, externou que acessá-lo a partir do menu “outros recursos” ficava pouco intuitivo. Com relação à tela do teste de lateralidade, os avaliadores EUCC1 e URTO2 ficaram confusos e não conseguiram identificar, num primeiro momento, a finalidade dessa seção do aplicativo, sendo que para o avaliador EUCC1 foi

necessário em seguida explicar as funcionalidades da seção em questão.

- **T2 - Acessar a tela de realização de sessões, escolher uma sessão e realizá-la por alguns segundos.** Nessa tarefa URTO1 e URTO2, que estavam utilizando a rede móvel 3G na execução, mostraram impaciência com a lentidão do aplicativo para acessar a lista de sessões disponíveis, apertando diversas vezes o ícone correspondente no menu principal. Na tela de realização da sessão, todos os avaliadores questionaram a falta de algum tipo de auxílio para posicionar a câmera em relação à distância e altura. O avaliador EUCC1 questionou a falta de um botão de ajuda em outras áreas durante as tarefas.
- **T3 - Acessar a tela com os meus vídeos, escolher um vídeo e assistir a sessão comentada.** Para URTO1 e URTO2, a lentidão também foi um problema nessa tarefa. Na tela de seleção de vídeos, URTO1 comentou que a lista de vídeos estava ordenada do vídeo mais velho para o vídeo mais novo, sendo necessário rolar a tela para encontrar os vídeos mais recentes. Com relação à execução da sessão comentada, EUCC1 questionou sobre a qualidade das filmagens, e sobre o fato de alguns vídeos ficarem com a resolução melhor que outros.
- **T4 - Acessar o menu de mensagens, ler uma mensagem da caixa de entrada e enviar uma mensagem para o terapeuta.** Esta tarefa foi a mais tranquila dentre todas, uma vez que os avaliadores tiveram poucos problemas e realizaram a tarefa de forma rápida e intuitiva. Houve alguns questionamentos sobre as funcionalidades da seção de mensagens pelo avaliador URTO2 como, por exemplo, se os pacientes poderiam trocar mensagens entres eles ou só com seu terapeuta. Em resumo, os avaliadores não externaram ou comentaram problemas, dúvidas ou confusões com relação à interface nessa tarefa.

5.1.2 Soluções de usabilidade - Aplicativo *Tei*

Os dados levantados a partir das avaliações possibilitaram a elaboração de soluções de usabilidade para a próxima versão do aplicativo *Tei*. A alteração no menu principal é o primeiro exemplo, de modo que podemos remover os botões “sair” e “outros recursos” do menu e inserir os botões ‘guia de exercícios’ e “teste de lateralidade” em seus lugares. O avaliador EUCC1 comentou que botão “sair” do aplicativo tem o mesmo objetivo do botão “sair” nativo do Android, sendo assim, estava tomando espaço desnecessário no menu. Outro exemplo é a inserção de

botões de ajuda em algumas telas específicas do aplicativo como, por exemplo, na tela do teste de lateralidade e na tela de realização de sessões.

O principal problema encontrado na avaliação foi a lentidão do aplicativo nos momentos em que era necessário acesso à Internet, principalmente se o usuário estivesse utilizando uma Internet de baixa velocidade. Este problema não tem uma solução trivial, pois todo o sistema é baseado em troca de dados na Internet, entretanto, uma alternativa poderia ser a inserção de mensagens mostrando o *status* do sistema, o que aumentaria o *feedback* ao usuário evitando que ele perdesse a paciência rapidamente. Sobre o posicionamento da câmera, URTO1 e URTO2 comentaram que o ideal seria a utilização de um suporte padrão, para que as filmagens permanecessem sempre com a mesma distância e altura, facilitando a avaliação e a comparação entre as sessões. Com relação à tela ‘meus vídeos’, para resolver o problema na lista de vídeos, podemos mudar a ordenação, deixando no topo da lista os exames mais recentes e no final os mais antigos, facilitando a visualização.

A respeito das questões funcionais levantadas pelos avaliadores, explicamos, no caso da resolução dos vídeos, que ela está diretamente relacionada com a capacidade da câmera do dispositivo, e que os vídeos são gravados em uma resolução baixa para não criar vídeos grandes demais, lembrando que estes vídeos serão transmitidos pela Internet. Sobre as mensagens, os terapeutas concordaram que o paciente deveria apenas ter contato com seu terapeuta, pois a evolução da terapia do espelho é muito particular, sendo que o contato, e por consequência, a comparação entre os pacientes poderia fazer um paciente mais atrasado ficar desmotivado.

5.1.3 Avaliação de usabilidade do aplicativo *TeiT*

A seguir serão descritas as tarefas e os principais problemas encontrados pelos participantes durante a avaliação da versão do aplicativo para terapeutas, o *TeiT*.

- **T1 - Fazer o login no sistema, verificar os dados de seus pacientes e inserir um novo paciente.** Nessa primeira tarefa, na tela “Meus Pacientes”, URTO1 tentou clicar na linha que continha os dados dos pacientes com a intenção de editar o cadastro e, após ver que o sistema não respondia, perguntou se não tinha como editar os dados de pacientes já cadastrados. Ainda na tela “Meus Pacientes”, todos os avaliadores demoraram alguns segundos até perceberem a barra de seleção de pacientes. Quando estava na tela de cadastro, o avaliador EUCC1, ao realizar um cadastro, ficou esperando uma mensagem dizendo que o cadastro havia sido efetuado com sucesso. Por não existir essa mensagem, o avaliador ficou na

dúvida se o cadastro havia sido concluído ou não.

- **T2 - Acessar a tela de inclusão de sessões e incluir uma sessão completa.** Ao tentar inserir uma nova sessão, URTO1 e URTO2 não perceberam o botão para adicionar novos exercícios. Já quando os avaliadores chegaram no campo correspondente ao tempo da sessão ficaram confusos em relação à unidade que deveriam utilizar, mesmo contendo logo abaixo uma anotação informando para inserir o tempo em minutos. O avaliador EUCC1 ao perceber a anotação, comentou que o tamanho da fonte estava pequena dificultando a leitura.
- **T3 - Acessar a tela de avaliação de sessões, escolher um vídeo e avalia-lo.** Assim como no aplicativo *Tei*, os avaliadores URTO1 e URTO2, que estavam utilizando a rede móvel 3G em seus dispositivos, externaram o problema da demora para abrir a lista de vídeos. No momento da tarefa em que os avaliadores deveriam fazer anotações no vídeo escolhido, URTO2 sentiu falta de um botão para apagar anotações recém inseridas. Durante a realização desta tarefa, o avaliador URTO2 percebeu um problema funcional grave no sistema e que passou despercebido nas etapas de levantamento de requisitos, projeto e implementação do aplicativo. O sistema não possuía, até o momento, um recurso que possibilitava ocultar no vídeo a imagem do membro afetado. Este fator poderia tornar o sistema inutilizável dado que diminuiria ou anularia o efeito da ilusão causada pelo espelho no cérebro do paciente.
- **T4 - Acessar o menu de mensagens, ler uma mensagem da caixa de entrada e enviar uma mensagem para um paciente.** Nessa tarefa o avaliador EUCC1 disse que a falta de um campo mostrando com qual paciente ele estava se comunicando naquele momento poderia deixar o usuário confuso. URTO1 e URTO2 comentaram que esta tarefa foi bem simples e que o único ponto de confusão também foi em relação à comunicação com vários usuários.

5.1.4 Soluções de usabilidade - Aplicativo *TeiT*

Assim como na avaliação do aplicativo *Tei*, a avaliação de usabilidade com o *TeiT* possibilitou o levantamento de algumas soluções para os problemas descritos pelos participantes. Na tela “Cadastro”, por exemplo, podemos adicionar ao final do processo uma mensagem de conclusão, fornecendo ao usuário o *feedback* necessário para evitar qualquer tipo de confusão. Mensagens sobre o *status* do

sistema em momentos que é necessário acessar a Internet também deverão ser inseridas.

Sobre a possibilidade de editar os dados de pacientes já cadastrados, pensamos na inserção de um novo botão na tela “Meus Pacientes” que transforme os campos em editáveis. Já para resolver o problema de visualização da legenda abaixo do campo correspondente ao tempo da sessão, na tela “Inserção de Sessões”, pensamos em aumentar a fonte ou alterar a cor do texto dando mais destaque a legenda.

Na tela “Avaliar Sessões”, onde as anotações são inseridas, pensamos em adicionar um botão para limpar as anotações. No caso de o terapeuta cometer um erro durante a anotação ele pode limpar o vídeo e começar de novo. Já em “Mensagens”, para melhorar a ciência do terapeuta sobre com qual paciente ele esta se comunicando, podemos inserir um campo na parte inferior da tela que deixe explicito o nome do paciente escolhido.

Nessa avaliação os participantes também deram sugestões sobre as funcionalidades do sistema. A principal sugestão foi a criação da opção de ocultar o membro acometido antes de enviar o vídeo comentado para o paciente. Esta funcionalidade foi prontamente implementada devido a sua importância para o projeto, já estando disponível.

5.2 Avaliação do modelo proposto por meio de entrevistas

O uso de entrevistas permite explorar os pontos de vista, experiências, crenças e motivações dos indivíduos sobre um questão específica [Gill et al., 2008]. Entrevistas individuais foram realizadas com os usuários representativos URTO1 e URTO2 – tendo sido gravadas em áudio para permitir acesso posterior. As entrevistas seguiram o modelo estruturado e o questionário que serviu de base continha as seguintes questões:

- *Qual sua opinião sobre a realização da terapia do espelho em casa, administrada pelo próprio paciente sem nenhum tipo de acompanhamento?*
- *Quais são as principais vantagens e as principais desvantagens deste tipo de abordagem?*
- *Você acha que o monitoramento remoto proposto no trabalho poderia trazer bons resultados na terapia do espelho?*
- *Você acha que os resultados obtidos através do sistema seriam equivalentes aos da terapia presencial?*
- *Em sua opinião quais os principais problemas da proposta do trabalho?*
- *Você acha que o compartilhamento de vídeos poderia trazer algum prejuízo para terapia do espelho?*

- *Você acha que o sistema poderia ocasionar algum problema em relação à aderência dos pacientes a terapia do espelho?*
- *Em sua opinião quais os principais vantagens da proposta do trabalho?*
- *Você acha que a computação poderia contribuir de outras formas na pratica terapia do espelho? Como?*
- *Um dos recursos do sistema é teste de lateralidade, você conhece algum outro recurso similar que poderia ser incluído no sistema para auxiliar na reabilitação?*
- *O próximo passo do projeto é testar o sistema com pacientes reais, você acha que o sistema é indicado para algum tipo de paciente em especial?*

Iniciamos as entrevistas perguntando para os avaliadores suas opiniões sobre a realização da terapia do espelho em casa administrada pelo próprio paciente. URTO2 então comentou que o treinamento em casa sem o terapeuta é essencial para o tratamento, porque quanto maior for o numero de sessões que o paciente realizar melhores serão os resultados, porém é inviável para o paciente e para o terapeuta a realização de muitas sessões presenciais por semana. Os dois entrevistados ressaltaram, no entanto, a dificuldade em identificar se os pacientes estão realmente fazendo os exercícios em casa ou se estão realizando os exercícios de forma correta. URTO1 destacou que a realização da terapia do espelho em casa por longos períodos e sem nenhum contato com terapeuta tem a tendência de tornar o paciente desmotivado e, por consequência, aumenta o número de desistências.

Em seguida, foi questionado se o sistema proposto poderia trazer avanços na terapia do espelho e se os resultados utilizando o sistema poderiam ser equivalentes aos de sessões presenciais. Os terapeutas disseram que a principal vantagem do sistema é fornecer informações sobre o paciente e seu comportamento perante a terapia. Informações como, por exemplo, se os pacientes estão fazendo suas sessões em casa, quantas vezes por semana, quanto tempo cada sessão ou se estão fazendo os exercícios corretamente. Porém, tanto URTO1 quanto URTO2 afirmaram que apesar dos vários recursos presentes no sistema, a sessão presencial possui a vantagem de o terapeuta conseguir adaptar aquela sessão em tempo real. Por exemplo, se o terapeuta percebe que o paciente está realizando os exercícios corretamente, mas está com a concentração baixa em relação ao reflexo no espelho, poderia chamar a atenção do paciente corrigindo a pratica naquele momento, o que seria impossível com o sistema. URTO1 também ressaltou a inviabilidade de realizar exercícios com estímulos sensoriais e táteis em casa, dado que o ideal é que estes estímulos não sejam realizados pelo próprio paciente e sim pelo terapeuta.

Quando questionados sobre possíveis problemas ou ônus do sistema, os entrevistados não conseguiram identificar a princípio problemas na proposta, citando somente os problemas de usabilidade encontrados anteriormente. Entretanto, URTO2 lembrou que ainda não foram realizados testes com pacientes reais. Em seguida, questionamos se o compartilhamento de vídeos ou se o fato do paciente assistir sua própria sessão poderia trazer algum prejuízo para o paciente. URTO1 disse que sua principal preocupação é em relação à segurança e a ideia dos vídeos de seus pacientes estarem em um servidor com acesso pela Internet. Por outro lado, URTO2 destacou que o fato do terapeuta ter a opção de escolher qual vídeo o paciente terá acesso ou se o paciente terá permissão de ver o membro danificado no vídeo, impede inicialmente que o sistema venha a ocasionar algum dano a terapia ou avarie a ilusão causada pelo espelho.

Posteriormente, falamos sobre a aderência a longo prazo dos pacientes ao sistema. Para os terapeutas o sistema pode inclusive ajudar a motivar os pacientes que precisam realizar a terapia a longo prazo, isto devido aos *feedbacks* constantes e respostas mais rápidas a respeito do tratamento. URTO2 destacou, porém que em seu ponto de vista as sessões presenciais são o principal fator para um paciente decidir continuar ou desistir do tratamento. URTO1 comentou que seus pacientes estão sempre procurando novidades ou recursos que facilitem suas práticas, e que o sistema será bem recebido por seus pacientes, independente do tempo de tratamento de cada um. Porém, URTO1 ressaltou que com a comunicação frequente e o acesso as sessões realizadas em casa pelos pacientes, o sistema poderia ajudar a diminuir o número de deslocamentos dos pacientes, podendo em alguns casos tornar mais longo o tempo entre os retornos ao consultório.

A pergunta sobre as principais vantagens do sistema foi feita somente para URTO1, pois durante as outras perguntas URTO2 já tinha deixado claro sua opinião sobre as principais vantagens do sistema. URTO2 já havia dito que as principais vantagens do sistema eram o aumento motivacional conseguido como resultado dos *feedbacks* constantes e o aumento da ciência do terapeuta sobre a sessão remota. Já para URTO1, com o sistema será possível guiar com mais eficiência a terapia, realizando correções ou direcionando o tratamento remotamente. A terapeuta URTO1 ressaltou também que a ciência do que o paciente realizou na sua ausência iria auxiliar na terapia presencial, dado que o terapeuta poderia focar a sessão nos pontos em que os pacientes estivessem apresentando dificuldade nas sessões realizadas em casa.

Perguntamos em seguida, se para os terapeutas a computação poderia contribuir de alguma outra maneira para a terapia do espelho, inclusive se poderia maximizar o estímulo neural causado pela ilusão do espelho. Em um primeiro

momento as terapeutas não conseguiram pensar em outra contribuição significativa. Então, citamos o recurso do teste de lateralidade presente no sistema e perguntamos se havia algo similar que poderia ser incluído no aplicativo. URTO1 e URTO2 levantaram a possibilidade de inserção de um módulo de imaginação motora, que auxiliaria o paciente por meio de imagens, vídeos e sons a imaginar que estão realizando uma tarefa do cotidiano em lugares e com objetos familiares.

Para finalizar perguntamos se o sistema seria mais indicado para algum tipo de paciente em especial, ou se haveria algum tipo de limitação de uso como, por exemplo, idade, grau de instrução, classe social ou tipo de deficiência. Para URTO2 a única limitação seria o acesso dos pacientes aos dispositivos móveis com recursos suficientes para utilizar o sistema, ou o acesso a Internet de qualidade e com boa velocidade de *download* e *upload*, ou seja, a classe social poderia ser um fator limitante. Por outro lado, URTO1 e URTO2 frisaram que os sistema poderia ser indicado para pacientes de todas as idades e com variados graus de escolaridade, isto devido a simplicidade do sistema. Também ressaltaram que todos os pacientes que estão realizando reabilitação neuromotora por meio da terapia do espelho poderiam utilizar o sistema como, por exemplo, em casos de amputação e tratamento da dor fantasma, vítimas de AVC ou pacientes que passaram por cirurgia de mão ou de plexo.

5.3 Considerações finais

Neste capítulo apresentamos as primeiras impressões de usuários representativos do público alvo sobre o modelo de acompanhamento remoto proposto e o sistema de apoio desenvolvido e neste trabalho. O método *Think Aloud* utilizado para avaliar a usabilidade permitiu identificar os problemas mais graves do sistema. Para um levantamento mais apurado e detalhado de problemas e de melhorias, outros testes precisam ser realizados. As soluções propostas para os problemas identificados serão adicionadas em novas versões dos aplicativos.

As entrevistas realizadas com os terapeutas sobre o modelo de acompanhamento possibilitou uma análise inicial sobre os resultados do uso do sistema. Outros estudos, incluindo estudos de caso como pacientes em tratamento, serão realizado para verificar as implicações deste modelo na terapia.

Discussão e Conclusão

Práticas mentais tais como a terapia do espelho e a imaginação motora têm apresentado contribuições para a reabilitação neuromotora de pacientes em tratamento de diversas deficiências neurológicas. Exemplos dessas deficiências são a dor fantasma, problemas motores decorrentes de acidente vascular cerebral, ou de estágios posteriores a cirurgias de mão ou do plexo braquial. Práticas mentais possuem particularidades que dificultam o monitoramento quando o paciente está realizando a terapia em casa sem a presença de um terapeuta. Na imaginação motora, por exemplo, como os exercícios são exclusivamente mentais, os terapeutas não conseguem avaliar essas sessões, uma vez que o único parâmetro acessível sobre cada sessão é o tempo da sessão. Já o uso de técnicas de realidade virtual permite empregar sensores e reconstruir virtualmente os membros afetados e o ambiente e podem, por um lado, prover facilidades para monitoramento ao capturar diversos aspectos de uma sessão, mas podem, por outro lado, apresentar problemas com a ilusão do movimento porque o membro virtual não reproduz em detalhes o membro real (com suas marcas pessoais e imperfeições).

No caso da terapia do espelho, a dificuldade no monitoramento está em obter informações para avaliar as execuções – isso porque a atenção do paciente precisa estar totalmente no espelho e no movimento do membro espelhado e não pode haver preocupações ou alterações na imagem do espelho. Esse fator dificulta o uso de sensores, por exemplo, uma vez que eles poderiam tirar a atenção do paciente. Com intuito de superar essas dificuldades, nesta dissertação apresentamos o modelo para terapia do espelho interativa remota ou *MTEIR*,

que é baseado na captura e na avaliação das sessões por meio de recursos disponibilizados em aplicativos para dispositivos móveis. Para gravar uma terapia domiciliar com o sistema, o paciente precisa se preocupar unicamente em posicionar o dispositivo adequadamente, utilizando a marcação de tela do aplicativo Tei, o que não interfere com as características da terapia. Com as ferramentas de anotação integradas no sistema pela adaptação da MoVia, os terapeutas podem corrigir e direcionar o tratamento à distância – o que pode resultar na diminuição do número de deslocamentos e de sessões presenciais do paciente.

Em entrevistas realizadas com terapeutas ocupacionais, estes avaliaram que a possibilidade de guiar o tratamento a distância é um dos principais benefícios do modelo proposto. Além disso, eles consideraram que a maior contribuição poderia ser em relação ao aumento da motivação do paciente mediante as constantes interações e *feedbacks*. Eles observaram também que, considerando que a tendência nesse tipo de tratamento é que pacientes desmotivados encerrem o tratamento antes do tempo planejado pelo terapeuta, o sistema pode trazer benefícios para a aderência pelos pacientes a longo prazo. Os terapeutas ressaltaram também que, devido à facilidade de uso e às poucas exigências em termos de equipamento, o sistema poderia ser utilizado por muitos dos paciente em reabilitação pela terapia do espelho. Outro fator importante de destacar é o custo do sistema comparado a outras soluções computacionais de reabilitação.

Uma das principais limitações do modelo proposto é demanda por rede de comunicação para envio dos arquivos de vídeo gerados pelo aplicativo. Uma sessão de quinze minutos que faz uso de gravação de vídeo em baixa resolução pode gerar, dependendo do aparelho, arquivos de vídeos de aproximadamente 100 megabytes. Ao se diminuir a resolução do vídeo, aspectos importantes podem não estar disponíveis para os terapeutas e, ao se aumentar a resolução, torna-se mais custosa a transmissão via Internet. Para tentar amenizar este efeito, optamos pelo envio dos vídeos em segundo plano, sendo transmitido sem que o paciente precise esperar o aplicativo terminar de enviar. Outra alternativa seria manter os vídeos gravados em um diretório oculto no dispositivo. Após a sessão, o paciente poderia escolher enviar o vídeo imediatamente ou em um outro momento, por exemplo, quando não fosse utilizar o dispositivo ou quando estivesse conectado em uma rede de alta velocidade. Do mesmo modo que o tamanho dos vídeos é um problema e dificulta a transmissão via Internet, o armazenamento em larga escala e por longos períodos também é uma preocupação, sendo necessária uma estrutura igualmente grande para suportar este armazenamento.

Em trabalhos futuros, pretendemos realizar testes com pacientes e colaborar com especialistas nas realização de análises dos efeitos e das implicações

da terapia remota. Estamos avaliando também a inserção de novos recursos como, por exemplo, a criação de auxílios para a prática de imaginação motora por meio de sons e imagens. Uma limitação importante que pretendemos evoluir em trabalhos futuros está relacionado a baixa abrangência atual do modelo em comparação as afecções tratáveis pela terapia do espelho. No modelo que estamos propondo o foco do desenvolvimento foi direcionado para a reabilitação de membros superiores, principalmente em casos de cirurgia de mão e plexo braquial. Entretanto a terapia do espelho também pode fazer parte do tratamento em casos como, por exemplo, acidente vascular cerebral, dor fantasma ou afecções relacionadas aos membros inferiores. Sendo assim, as particularidades clínicas de cada uso da terapia do espelho precisam ser mapeadas e inseridas ao modelo de modo que o terapeuta possa adaptar o tratamento por meio do aplicativos *Tei* e *TeiT* levando em consideração cada tratamento.

Apesar de o sistema desenvolvido ser focado na terapia do espelho e na reabilitação neuromotora, poderíamos utilizá-lo em outros tipos de acompanhamentos como, por exemplo, na fisioterapia ou na área de ensino.

Um resumo apresentado oral no XIII Congresso Brasileiro de Reabilitação da Mão, quando foi possível demonstrar os aplicativos para profissionais que fazem parte do público alvo da proposta [Correia et al., 2015].

R. D. Correia, D.N Goia, V.M.C Elui, and M. G. Pimentel. Acompanhamento remoto de sessões de terapia do espelho: uma abordagem com vídeo e anotações em dispositivos móveis. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Reabilitação da Mão, Ribeirão Preto, 2015.

Alguns dos resultados obtidos nesta dissertação foram reportados em um artigo completo aceito para o XXI Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web [Cunha et al., 2015a].

B. R. Cunha, R. D. Correia, and M. G. Pimentel. Mobile video annotations: A case study on supporting rehabilitation exercises. In Proceedings of the 21th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web, WebMedia'15, 2015. pages 245–252. ACM. ISBN 978-1-4503-2559-2.

Referências Bibliográficas

- Abowd, G. D., Mynatt, E. D., and Rodden, T. (2002). The human experience. *IEEE Pervasive Computing*, 1(1):48–57.
- Android Developers (2013). Site oficial para desenvolvedores Android.
- Arya, K. N. and Pandian, S. (2013). Effect of task-based mirror therapy on motor recovery of the upper extremity in chronic stroke patients: A pilot study. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 20(3):210–217.
- Bach, F., Schmitz, B., Maaß, H., Çakmak, H., Diers, M., B.-Bodmann, R., Kamping, S., and Flor, H. (2010). Using Interactive Immersive VR/AR for the Therapy of Phantom Limb Pain. In *Proceedings of the 13th International Conference on Humans and Computers*, HC '10, pages 183–187, Fukushima-ken, Japan, Japan. University of Aizu Press.
- Badia, S. B., Morgade, A. G., and Samaha, H. (2013). Using a hybrid brain computer interface and virtual reality system to monitor and promote cortical reorganization through motor activity and motor imagery training. *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on*, 21(2):174–181.
- Barton, G. J., De Asha, A. R., van Loon, E. C. P., Geijtenbeek, T., and Robinson, M. A. (2014). Manipulation of visual biofeedback during gait with a time delayed adaptive virtual mirror box. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 11:101.
- B'far, R. (2004). *Mobile Computing Principles: Designing and Developing Mobile Applications with UML and XML*. Cambridge University Press.
- Blausen, G. (2014). Cérebro: regiões de controle motor. https://en.wikipedia.org/wiki/Cerebral_cortex#/media/File:Blausen_0102_Brain_Motor26Sensory.png.
- Bobath, B. (1985). *Abnormal postural reflex activity caused by brain lesions*. Aspen Systems Corp.
- Bobath, B. (1990). *Adult Hemiplegia: Evaluation and Treatment*. Butterworth-Heinemann.

- Boutrup, J., Odelheim, K., Sokoler, T., and Bagalkot, N. L. (2013). MyReDiary: Exploring the Design for Supporting Adherence to Physical Rehabilitation. In *Proceedings of the 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, PervasiveHealth '13, pages 284–287. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- Butler, D. (2015). Graded Motor Imagery (<http://www.gradedmotorimagery.com>).
- Butler, M. (2011). Android: Changing the mobile landscape. *Pervasive Computing, IEEE*, 10(1):4–7.
- Carr, J. H. and Shepherd, R. B. (2006). The changing face of neurological rehabilitation. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 10:147 – 156.
- Carvalho, D., Teixeira, S., Lucas, M., Yuan, T.-F., Chaves, F., Peressutti, C., Machado, S., Bittencourt, J., Menéndez-González, M., Nardi, A., Velasques, B., Cagy, M., Piedade, R., Ribeiro, P., and Arias-Carrión, O. (2013). The mirror neuron system in post-stroke rehabilitation. *International Archives of Medicine*, 6(1).
- Cattelan, R. G., Teixeira, C., Goularte, R., and Pimentel, M. D. G. C. (2008). Watch-and-comment as a paradigm toward ubiquitous interactive video editing. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 4(4):28.
- Chaudhary, U., Birbaumer, N., and Curado, M. (2015). Brain-Machine Interface (BMI) in paralysis. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 58(1):9 – 13.
- Ciaramitaro, B. (2011). *Mobile Technology Consumption*. IGI Global,.
- Cinaglia, P., Tradigo, G., and Veltri, P. (2012). A system for acquiring and management of ecg signals by using mobile devices: A support for first intervention in heart attacks. In *Proceedings of the ACM Conference on Bioinformatics, Computational Biology and Biomedicine*, BCB '12, pages 677–682, New York, NY, USA. ACM.
- Citri, A. and Malenka, R. C. (2008). Synaptic plasticity: multiple forms, functions, and mechanisms. *Neuropsychopharmacology : official publication of the American College of Neuropsychopharmacology*, 33(1):18–41.
- Correa-Agudelo, E., Hernandez, A. M., Ferrin, C., and Gomez, J. D. (2015). Vi-Limbs: Improving Phantom Limb Treatment Through Multisensory Feedback. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '15, New York, NY, USA. ACM.
- Correia, R. D., Goia, D. N., Elui, V. M. V., and Pimentel, M. d. G. C. (2015). Acompanhamento remoto de sessões de terapia do espelho: uma abordagem com vídeo e anotações em dispositivos móveis. In *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Reabilitação da Mão*.

- Cunha, B. C., Correia, R. D., and Pimentel, M. d. G. C. (2015a). Mobile video annotations: A case study on supporting rehabilitation exercises. In *Proceedings of the 21st Brazilian Symposium on Multimedia and the Web, WebMedia '15*, pages 245–252, New York, NY, USA. ACM.
- Cunha, B. C., Machado Neto, O. J., and da Graça C. Pimentel, M. (2013). Movia: A mobile video annotation tool. In *Proceedings of the 2013 ACM Symposium on Document Engineering, DocEng '13*, pages 219–222, New York, NY, USA. ACM.
- Cunha, B. C. R., Correia, R. D., and Pimentel, M. G. C. (2015b). Mobile video annotations: A case study on supporting rehabilitation exercises (aceito). In *Proceedings of the 21th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web, WebMedia '15*.
- Darnall, B. D. (2009). Self-delivered home-based mirror therapy for lower limb phantom pain. *Am J Phys Med Rehabil*, 88:78–81.
- Darnall, B. D. and Li, H. (2012). Home-based self-delivered mirror therapy for phantom pain: A pilot study. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 44:254–260.
- de Sá, M., Carriço, L., and Antunes, P. (2007). Ubiquitous psychotherapy. *IEEE Pervasive Computing*, 6(1):20–27.
- Deconinck, F. J. A., Smorenburg, A. R. P., Benham, A., Ledebt, A., Feltham, M. G., and Savelsbergh, G. J. P. (2014). Reflections on mirror therapy: A systematic review of the effect of mirror visual feedback on the brain. *Neuro-rehabilitation and Neural Repair*.
- Demidowich, A. P., Lu, K., Tamler, R., and Bloomgarden, Z. (2012). An evaluation of diabetes self-management applications for android smartphones. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 18(4):235–238.
- Developer, A. (2015). Activity.
- Dietz, V., Nef, T., and Rymer, W. (2012). *Neurorehabilitation Technology*. Springer London.
- El-Gayar, O., Timsina, P., Nawar, N., and Eid, W. (2013). Mobile applications for diabetes self-management: Status and potential. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 7(1):247–262.
- Ensmenger, N., Aspray, W., Yost, J., and Campbell-Kelly, M. (2013). *Computer*. Westview Press.
- Ericsson, K. A. and Simon, H. A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological review*, 87(3):215.
- Ezendam, D., Bongers, R. M., and Jannink, M. J. A. (2009). Systematic review of the effectiveness of mirror therapy in upper extremity function. *Disability and Rehabilitation*, 31(26):2135–2149.
- Fahl, S., Harbach, M., Muders, T., Baumgärtner, L., Freisleben, B., and Smith, M. (2012). Why eve and mallory love android: An analysis of android ssl

- (in)security. In *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Computer and Communications Security*, CCS '12, pages 50–61, New York, NY, USA. ACM.
- Fasoli, S. E., Krebs HI, S. J., WR, F., and N, H. (2003). *Effects of robotic therapy on motor impairment and recovery in chronic stroke*. Arch Phys Med Rehabil.
- Ferraris, C., Nerino, R., Chimienti, A., Pettiti, G., Pianu, D., Albani, G., Azzaro, C., Contin, L., Cimolin, V., and Mauro, A. (2014). Remote monitoring and rehabilitation for patients with neurological diseases. In *Proceedings of the 9th International Conference on Body Area Networks*, BodyNets '14, pages 76–82. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- Flores, E., Tobon, G., Cavallaro, E., Cavallaro, F. I., Perry, J. C., and Keller, T. (2008). Improving patient motivation in game development for motor deficit rehabilitation. In *Proceedings of the 2008 International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE '08, pages 381–384. ACM.
- Foell, J. and Flor, H. (2013). Phantom limb pain. In *Handbook of Pain and Palliative Care*, chapter 25, pages 417–430. Springer.
- Fukumura, K., Sugawara, K., Tanabe, S., Ushiba, J., and Tomita, Y. (2007). Influence of mirror therapy on human motor cortex. *International Journal of Neuroscience*, 117(7):1039–1048.
- Gaggioli, A., Morganti, F., Walker, R., Meneghini, A., Alcaniz, M., Lozano, J., Montes, J., Gil, J., and Riva, G. (2004). Training with computer-supported motor imagery in post-stroke rehabilitation. *Cyberpsychology and behavior : the impact of the Internet, multimedia and virtual reality on behavior and society*, 7(3):327–332.
- Gill, A. M. and Nonnecke, B. (2012). Think aloud: Effects and validity. In *Proceedings of the 30th ACM International Conference on Design of Communication*, SIGDOC '12, pages 31–36, New York, NY, USA. ACM.
- Gill, P., Stewart, K., Treasure, E., and Chadwick, B. (2008). Methods of data collection in qualitative research: interviews and focus groups. *British Dental Journal*, 204:291 – 295.
- Gillies, M., Brenton, H., Yee-King, M., Grimalt-Reynes, A., and d’Inverno, M. (2015). Sketches vs skeletons: video annotation can capture what motion capture cannot. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Movement and Computing*, pages 104–111. ACM.
- Giummarra, M. J., Gibson, S. J., Georgiou-Karistianis, N., and Bradshaw, J. L. (2007). Central mechanisms in phantom limb perception: the past, present and future. *Brain research reviews*, 54(1):219–232.
- Golomb, M., Barkat-Masih, M., Rabin, B., AbdelBaky, M., Huber, M., and Burdea, G. (2009). Eleven months of home virtual reality telerehabilitation – les-

- sons learned. In *Virtual Rehabilitation International Conference, 2009*, pages 23–28.
- Gravenhorst, F., Muaremi, A., Bardram, J., Grünerbl, A., Mayora, O., Wurzer, G., Frost, M., Osmani, V., Arnrich, B., Lukowicz, P., and Tröster, G. (2015). Mobile phones as medical devices in mental disorder treatment: An overview. *Personal Ubiquitous Comput.*, 19(2):335–353.
- Gray, H. (1918). Cérebro: lobos. https://pt.wikipedia.org/wiki/Cérebro_humano#/media/File:Gray728.png.
- Grünert-Plüss, N., Hufschmid, U., Santschi, L., and Grünert, J. (2008). Mirror therapy in hand rehabilitation: A review of the literature, the st gallen protocol for mirror therapy and evaluation of a case series of 52 patients. *The British Journal of Hand Therapy*, 13:4–11.
- Hamzei, F., Läppchen, C. H., Glauche, V., Mader, I., Rijntjes, M., and Weiller, C. (2012). Functional plasticity induced by mirror training: The mirror as the element connecting both hands to one hemisphere. 26(5):484–496.
- Haux, R. (2010). Medical informatics: Past, present, future. *International Journal of Medical Informatics*, 79:599–610.
- Ietswaart, M., Johnston, M., Dijkerman, H. C., Joice, S., Scott, C. L., MacWalter, R. S., and Hamilton, S. J. (2011). Mental practice with motor imagery in stroke recovery: randomized controlled trial of efficacy. *Brain*.
- Istepanian, R., Laxminarayan, S., and Pattichis, C. (2006). *M-Health: Emerging Mobile Health Systems*. Springer.
- Jain, J., Lund, A., and Wixon, D. (2011). The future of natural user interfaces. In *CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '11*, pages 211–214, New York, NY, USA. ACM.
- Jalaliniya, S. and Pederson, T. (2015). Designing wearable personal assistants for surgeons: An egocentric approach. *Pervasive Computing, IEEE*, 14(3):22–31.
- Janidarmian, M., Roshan Fekr, A., Radecka, K., and Zilic, Z. (2014). Affordable erehabilitation monitoring platform. In *IEEE international humanitarian technology conference (IHTC)*.
- Kanehisa, M. and Bork, P. (2003). Bioinformatics in the post-sequence era. pages 305 – 310. *Nature Genetics*.
- Kang, Y. J., Park, H. K., Kim, H. J., Lim, T., Ku, J., Cho, S., Kim, S. I., and Park, E. S. (2012). Upper extremity rehabilitation of stroke: facilitation of corticospinal excitability using virtual mirror paradigm. *J Neuroeng Rehabil*, 9(1):71.
- Kidd, C. D., Orr, R., Abowd, G. D., Atkeson, C. G., Essa, I. A., MacIntyre, B., Mynatt, E., Starner, T. E., and Newstetter, W. (1999). The aware home: A living

- laboratory for ubiquitous computing research. In *Cooperative buildings. Integrating information, organizations, and architecture*, pages 191–198. Springer.
- King, M., Hijmans, J., Sampson, M., Satherley, J., McMillan, N., and Hale, L. (2010). Bilateral movement training with computer games for stroke rehabilitation. In *Proceedings of the 4th International Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology*, iCREATE '10, pages 20:1–20:4.
- Knott, M. and Kabat, H. (1954). Proprioceptive facilitation therapy for paralysis. pages 171–176. Physiotherapy.
- Kodi, A., Kumar, D., Kodali, D., and Pasha, I. A. (2013). EEG-controlled Wheelchair for ALS Patients. In *Proceedings of the 2013 International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, pages 879–883, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Kranz, M., Möller, A., Hammerla, N., Diewald, S., Plötz, T., Olivier, P., and Rölter, L. (2013). The mobile fitness coach: Towards individualized skill assessment using personalized mobile devices. *Pervasive and Mobile Computing*, 9(2):203 – 215. Special Section: Mobile Interactions with the Real World.
- Kranz, M., Spiessl, W., and Schmidt, A. (2007). Designing ubiquitous computing systems for sports equipment. In *Pervasive Computing and Communications, 2007. PerCom'07. Fifth Annual IEEE International Conference on*, pages 79–86. IEEE.
- Lamont, K., Chin, M., and Kogan, M. (2011). Mirror Box Therapy – Seeing is Believing. *EXPLORE: The Journal of Science and Healing*, 7(6):369 – 372.
- Lan, M., Samy, L., Alshurafa, N., Suh, M.-K., Ghasemzadeh, H., Macabasco-O'Connell, A., and Sarrafzadeh, M. (2012). WANDA: An End-to-end Remote Health Monitoring and Analytics System for Heart Failure Patients. In *Proceedings of the Conference on Wireless Health*, WH '12, pages 9:1–9:8, New York, NY, USA. ACM.
- Landman, M. (2010). Managing smart phone security risks. In *2010 Information Security Curriculum Development Conference*, InfoSecCD '10, pages 145–155, New York, NY, USA. ACM.
- Lee, H.-M., Li, P.-C., and Fan, S.-C. (2015). Delayed mirror visual feedback presented using a novel mirror therapy system enhances cortical activation in healthy adults. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 12(1):56.
- Lewis, C. and Rieman, J. (1994). Task-Centered User Interface Design: A Practical Introduction.
- Li, Y., Wei, D., and Liu, L. (2010). *Interdisciplinary Research and Applications in Bioinformatics, Computational Biology, and Environmental Sciences*. IGI Global.
- Lin, K.-C., Chen, Y.-T., Huang, P.-C., Wu, C.-Y., Huang, W.-L., Yang, H.-W., Lai, H.-T., and Lu, H.-J. (2014). Effect of mirror therapy combined with somato-

- sensory stimulation on motor recovery and daily function in stroke patients: A pilot study. *Journal of the Formosan Medical Association*, 113(7):422 – 428.
- Lorenz, A., Mielke, D., Oppermann, R., and Zahl, L. (2007). Personalized mobile health monitoring for elderly. In *Proceedings of the 9th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '07, pages 297–304, New York, NY, USA. ACM.
- MacLachlan, M., McDonald, D., and Waloch, J. (2004). Mirror treatment of lower limb phantom pain: A case study. *Disability and Rehabilitation*, 26(14-15):901–904.
- Malizia, A. and Bellucci, A. (2012). The artificiality of natural user interfaces. *Commun. ACM*, 55(3):36–38.
- Martin, B. and Hanington, B. (2012). *Universal Methods of Design*. Rockport Publishers.
- Matthys, K., Smits, M., der Geest, J. N. V., der Lugt, A. V., Seurinck, R., Stam, H. J., and Selles, R. W. (2009). Mirror-Induced Visual Illusion of Hand Movements: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 90(4):675 – 681.
- McCabe, C. S., Haigh, R. C., Ring, E. F. J., Halligan, P. W., Wall, P. D., and Blake, D. R. (2003). A controlled pilot study of the utility of mirror visual feedback in the treatment of complex regional pain syndrome (type 1). *Rheumatology*, 42(1):97–101.
- McFarland, D. J. and Wolpaw, J. R. (2011). Brain-computer interfaces for communication and control. *Commun. ACM*, 54(5):60–66.
- Mifflin, H. (2015). The american heritage medical dictionary.
- Mihelj, M., Novak, D., and Beguš, S. (2013). *Virtual Reality Technology and Applications*. Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering. Springer Netherlands.
- Millan, J., Rupp, R., Muller-Putz, G., Murray-Smith, R., Giugliemma, C., Tangermann, M., Vidaurre, C., Cincott, F., Kubler, A., Leeb, R., Neuper, C., Muller, K., and Mattia, D. (2010). Combining brain-computer interfaces and assistive technologies: state-of-the-art and challenges. *Frontiers in Neuroprosthetics*, 4:161.
- Molla, E. and Boulic, R. (2013). A two-arm coordination model for phantom limb pain rehabilitation. In *Proceedings of the 19th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '13, pages 35–38, New York, NY, USA. ACM.
- Moller, A. R. (2006). *Neural Plasticity and Disorders of the Nervous System*. Cambridge University Press. Cambridge Books Online.
- Moseley, G. (2004). Graded motor imagery is effective for long-standing com-

- plex regional pain syndrome: a randomised controlled trial. *Pain*, 108(1-2):192–198.
- Moseley, G. L. (2006). Graded motor imagery for pathologic pain: A randomized controlled trial. *Neurology*, 67(12):2129–2134.
- Mousavinezhad, S. and Hu, W.-C. (2013). *Mobile and Handheld Computing Solutions for Organizations and End-Users*. IGI Global.
- Munoz, J. E., Chavarriaga, R., and Lopez, D. S. (2014). Application of Hybrid BCI and Exergames for Balance Rehabilitation After Stroke. In *Proceedings of the 11th Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE '14*, pages 67:1–67:4, New York, NY, USA. ACM.
- Nico, D., Daprati, E., Rigal, F., Parsons, L., and Sirigu, A. (2003). Left and right hand recognition in upper limb amputees. *Brain*, 127(1):120–132.
- Nicolas-Alonso, L. F. and Gomez-Gil, J. (2012). Brain computer interfaces, a review. *Sensors*, 12(2):1211–1279.
- Nielsen, J. (1994). *Usability Engineering*. Elsevier.
- Nielsen, J. (2012). Thinking Aloud: The #1 Usability Tool – <http://www.nngroup.com/articles/thinking-aloud-the-1-usability-tool/>.
- Nielsen, J. and Budiu, R. (2013). *Mobile Usability*. MITP-Verlags GmbH & Co. KG.
- Nilsen, D. M. and DiRusso, T. (2014). Using mirror therapy in the home environment: A case report. *American Journal of Occupational Therapy*, 68(3):84–89.
- Nordin, N., Xie, S. Q., and Wünsche, B. (2014). Assessment of movement quality in robot-assisted upper limb rehabilitation after stroke: a review. *J Neuroeng Rehabil*, 11:137.
- Norman, D. A. (2010). Natural user interfaces are not natural. *interactions*, 17(3):6–10.
- Osmani, V. (2015). Smartphones in mental health: Detecting depressive and manic episodes. *Pervasive Computing, IEEE*, 14(3):10–13.
- Osmani, V., Maxhuni, A., Grünerbl, A., Lukowicz, P., Haring, C., and Mayora, O. (2013). Monitoring activity of patients with bipolar disorder using smart phones. In *Proceedings of International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia, MoMM '13*, pages 85:85–85:92, New York, NY, USA. ACM.
- Pressman, R. S. (2010). *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. McGraw-Hill Education.
- Purves, D. (2012). *Neuroscience*. Sinauer Associates.
- Ramachandran, V. S. (2005). Plasticity and functional recovery in neurology. *Clinical Medicine*, 5(4):368–373.
- Ramachandran, V. S. and Altschuler, E. L. (2009). The use of visual feed-

- back, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function. *Brain*, 132(7):1693–1710.
- Ramachandran, V. S., Rogers-Ramachandran, D., and Cobb, S. (1995). Touching the phantom limb. volume 377, pages 489–490. *Nature*.
- Rohm, M., Schneiders, M., Muller, C., Kreiling, A., Kaiser, V., Müller-Putz, G. R., and Rupp, R. (2013). Hybrid brain-computer interfaces and hybrid neuroprostheses for restoration of upper limb functions in individuals with high-level spinal cord injury. *Artif. Intell. Med.*, 59(2):133–142.
- Rosén, B. and Lundborg, G. (2005). Training with a mirror in rehabilitation of the hand. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery and Hand Surgery*, 39(2):104–108.
- Ruiz-Zafra, A., Noguera, M., Benghazi, K., Garrido, J. L., Urbano, G. C., and Caracul, A. (2013). A mobile cloud-supported e-rehabilitation platform for brain-injured patients. In *Proceedings of the 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, PervasiveHealth '13, pages 352–355. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- Saleh, K. (2009). *Software Engineering*. J. Ross Publishing.
- Salzer, R. (2012). *Biomedical Imaging: Principles and Applications*. John Wiley and Sons.
- Sathian, K., Greenspan, A. I., and Wolf, S. L. (2000). Doing it with mirrors: A case study of a novel approach to neurorehabilitation. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 14(1):73–76.
- Schettini, F., Riccio, A., Simione, L., Liberati, G., Caruso, M., Frasca, V., Calabrese, B., Mecella, M., Pizzimenti, A., Inghilleri, M., and Donatella (2015). Assistive Device With Conventional, Alternative, and Brain-Computer Interface Inputs to Enhance Interaction With the Environment for People With Amyotrophic Lateral Sclerosis: A Feasibility and Usability Study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96:S46 – S53.
- Selzer, M., Clarke, S., Cohen, L., Duncan, P., and Gage, F., editors (2006). *Textbook of Neural Repair and Rehabilitation*, volume 1. Cambridge University Press. Cambridge Books Online.
- Shen, Y., Ong, S. K., and Nee, A. Y. C. (2008). An augmented reality system for hand movement rehabilitation. In *Proceedings of the 2Nd International Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology*, iCREATE '08, pages 189–192, Kaki Bukit TechPark II, Singapore. Singapore Therapeutic, Assistive & Rehabilitative Technologies (START) Centre.
- Shinoura, N., Suzuki, Y., Watanabe, Y., Yamada, R., Tabei, Y., Saito, K., and Yagi, K. (2008). Mirror therapy activates outside of cerebellum and ipsilateral

- M1. *NeuroRehabilitation*, 23(3):245—252.
- Shortliffe, E. H. and Cimino, J. J. (2013). *Biomedical Informatics: Computer Applications in Health Care and Biomedicine*. Springer, Fourth Edition.
- Sörös, G., Daiber, F., and Weller, T. (2013). Cyclo: a personal bike coach through the glass. In *SIGGRAPH Asia 2013 Symposium on Mobile Graphics and Interactive Applications*, page 99. ACM.
- Stanford, V. (2002). Using pervasive computing to deliver elder care. *Pervasive Computing, IEEE*, 1(1):10–13.
- Sumitani, M., Miyauchi, S., McCabe, C. S., Shibata, M., Maeda, L., Saitoh, Y., Tashiro, T., and Mashimo, T. (2008). Mirror visual feedback alleviates deaf-ferentation pain, depending on qualitative aspects of the pain: a preliminary report. *Rheumatology*, 47(7):1038–1043.
- Tanenbaum, A. S. (2001). *Modern Operating Systems*. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA, 2nd edition.
- Tavella, M., Leeb, R., Rupp, R., and del Millan, J. R. (2010). Towards natural non-invasive hand neuroprostheses for daily living. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE*, pages 126–129.
- Theng, L. (2014). *Assistive Technologies for Physical and Cognitive Disabilities*. IGI Global.
- Tominaga, W., Matsubayashi, J., Deguchi, Y., Minami, C., Kinai, T., Nakamura, M., Nagamine, T., Matsushashi, M., Mima, T., Fukuyama, H., and Mitani, A. (2009). A mirror reflection of a hand modulates stimulus-induced 20-Hz activity. *NeuroImage*, 46(2):500 – 504.
- Trojan, J., Diers, M., Fuchs, X., Bach, F., Bekrater-Bodmann, R., Foell, J., Kamping, S., Rance, M., Maaß, H., and Flor, H. (2014). An augmented reality home-training system based on the mirror training and imagery approach. *Behavior Research Methods*, 46(3):634–640.
- Wall, J. T., Xu, J., and Wang, X. (2002). Human brain plasticity: an emerging view of the multiple substrates and mechanisms that cause cortical changes and related sensory dysfunctions after injuries of sensory inputs from the body. *Brain Research Reviews*, 39(2–3):181 – 215.
- Weiser, M. (1991). The computer for the 21st century. *Scientific american*, 265(3):94–104.
- Weiser, M. (1993). Some computer science issues in ubiquitous computing. *Communications of the ACM*, 36(7):75–84.
- Wolpaw, J. R., Birbaumer, N., McFarland, D. J., Pfurtscheller, G., and Vaughan, T. M. (2002). Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical neurophysiology*, 113(6):767–791.

- Yavuzer, G., Selles, R., Sezer, N., Sütbeyaz, S., Bussmann, J. B., Köseoğlu, F., Atay, M. B., and Stam, H. J. (2008). Mirror therapy improves hand function in subacute stroke: A randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(3):393 – 398.
- Zahniser, R. (1990). *Building Software in Groups*, volume 3. American Programmer.